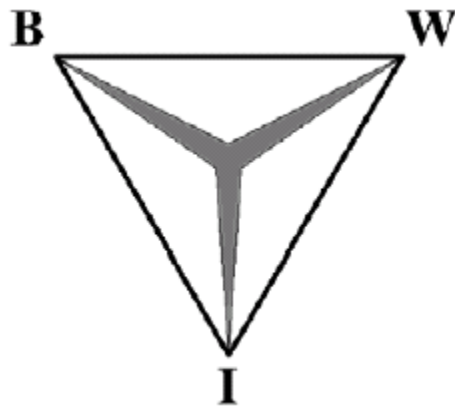


'Supercats'



Samir Azgzaou

BWI-werkstuk, december 2006

**Begeleider: Prof. Dr. H.M.P. Kersten
Vrije Universiteit Amsterdam
Faculteit der Exacte Wetenschappen
De Boelelaan 1081 a
1081 HV Amsterdam**

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting	3
1. De catastrofe bonds	5
1.1 Inleiding	5
1.2 Het ontstaan van de catbonds	5
1.3 Wat zijn catbonds?	7
1.4 Soorten catbonds	7
1.4.1 Dekking gebaseerd op omvang schadevergoeding	7
1.4.2 Dekking gebaseerd op een schade index trigger	8
1.3.3 Dekking gebaseerd op een zuivere parametrische trigger	8
1.4.4 Dekking gebaseerd op een parametrisch index trigger	9
1.4.5 Dekking gebaseerd op een gemodelleerd-verlies	10
1.5 Ontwikkeling van catbonds	10
2. Vanuit het gezichtspunt van een verzekerings-maatschappij	12
2.1 Inleiding	12
2.2 Soorten catastrofe gebeurtenissen	12
2.2.1 Natuurlijke rampen	12
2.2.1.1 Overstromingen	12
2.2.1.2 Stormen	12
2.2.1.3 Tropische depressie	13
2.2.1.4 Aardbevingen	13
2.2.1.5 Temperatuur	14
2.3 Extreme industriële rampen	14
2.4 Recente of nieuwe ontwikkelingen	14
2.5 Rampenregeling in Nederland	15
2.6 Redenen voor risico verschuiving naar een herverzekeraar	15
3. De catbondstructuur	17
3.1 Inleiding	17
3.2 Deelnemende partijen	17
3.2.1 Verzekerde	17
3.2.2 Verzekeringsmaatschappij	17
3.2.3 Herverzekeringsmaatschappij	17
3.2.4 Investeerder	18
3.2.5 Procedure	18
4. Vanuit het gezichtspunt van een belegger	22
4.1 Inleiding	22
4.2 Nieuw beleggingsproduct: Invloed van extreme rampen op de markt	22
4.3 De voorwaarden van investeerders om in catbonds te beleggen	24
4.3 Getallenvoorbeeld	24
4.4 Risico analyse van een catbonds portefeuille	26
4.4.1 Exceedance curve	26
4.5 Risicoanalyse van een catbonds portefeuille	28
5. Portefeuille analyse	31

5.1 Inleiding	31
5.2 Pseudo-portefeuille vergelijken met de markt	31
5.2.1 Resultaten.....	32
5.3 Gevoeligheidsanalyse van de portefeuille	39
5.3.1 Value at Risk en Marginaal Value at Risk (MVaR)	40
5.3.2 Value at Risk en Incrementeel Value at Risk (IVaR)	43
5.3.3 Risicoanalyse na het toevoegen van bonds.....	44
5.3.4 Risicoverandering door verandering in een trigger	46
6.1 Inleiding	47
6.2 Kreps model	47
6.3 Kreps en Major model (K&M)	48
6.4 Het LFC model	49
6.5 Vergelijking van modellen: classificatie.....	51
7. Conclusie.....	54
Literatuurlijst.....	56
Appendix 1: Overzicht van de pseudo-portefeuille.	58
Appendix 2: Jack-Bera verdelingstoets (JB-toets).....	59
Appendix 3: Lilliefors verdelingstoets.....	60

Voorwoord

Het BWI-werkstuk is één van laatste onderdelen van de opleiding Bedrijfswiskunde en Informatie (BWI). Naar aanleiding van een probleemstelling doet de student een literatuuronderzoek. Het onderzoek moet enige raakvlakken hebben met één of meer van de onderdelen bedrijfskunde, wiskunde en informatica.

Het onderwerp van dit werkstuk is een onderdeel van de stageopdracht bij PGGM. PGGM is een pensioenverzekeraar voor werknemers en werkgevers in de sector zorg en welzijn. Catbond is voor mij en voor vele collega's een onbekend beleggingsproduct. Het leek mij een goed idee om het product en de hele analyse zo goed mogelijk te beschreven.

Graag wil ik prof. dr. H.M.P. Kersten en ing. Patrick Schenkhuizen bedanken voor het begeleiden van dit BWI-werkstuk. Patrick Schenkhuizen is werkzaam als senior portfoliomanager bij PGGM.

Veel plezier met het lezen van dit werkstuk.

Samir Azgzaou,
December 2006

Samenvatting

Een catbond is een financieel instrument, dat bescherming biedt aan een (her)verzekeraar tegen extreme rampen zoals orkanen en giframpen. Het verzekeringsrisico wordt aangeboden aan een investeerder. De investeerder ontvangt hiervoor een premie, $\text{libor} + \text{vergoeding}$, van de (her)verzekeraar. Als zich een ramp voordoet moet de investeerder een bedrag betalen aan de (her)verzekeraar (verzekeringssuitkering).

Vóór het ontstaan van catbonds waren er twee andere alternatieven om het verzekeringsrisico te diversifiëren. De twee alternatieven waren catastrofe swaps (cat swaps) en herverzekering. Bij beide alternatieven verdwijnt het verzekeringsrisico, maar daarvoor komt een ander soort risico voor in de plaats namelijk het kredietrisico. Er moet dus een structuur gevonden worden die naast het verzekeringsrisico ook nog rekening houdt met het kredietrisico. Dit kan bereikt worden door het uitgeven van catbonds via een Special Purpose Vehicle (SPV). In totaal zijn er 5 soorten catbonds in omloop, die zich onderscheiden door de manier waarop de schade na een extreme ramp wordt vastgesteld.

De soorten extreme rampen, die voor kunnen komen, worden onderverdeeld in twee categorieën: natuur- en industrie rampen. De investeerder kan een hoge vergoeding verwachten als hij in catbonds belegt, maar een investeerder belegt pas in catbonds als die het vertrouwen heeft dat alle deelnemende partijen onafhankelijk zijn, zoals de SPV en de calculation agent. De SPV fungeert als een zelfstandig juridische onderneming, die de belangen van zowel de herverzekeraar als van de investeerder behartigt. De SPV neemt het verzekeringsrisico van de herverzekeraar over en die heeft weer een deel van het verzekeringsrisico overgenomen van de verzekeraar. Zonder de tussenkomst van een SPV, waarbij de verzekeraar en investeerder direct met elkaar in zee gaan, ontstaat kredietrisico. De (her)verzekeraar loopt kredietrisico op de investeerder, omdat er een kans bestaat dat de investeerder niet aan zijn verplichtingen kan voldoen. Dit hele probleem kan eenvoudig verholpen worden door een SPV in te schakelen. Naast de SPV moet de calculation agent, die de parameters modelleert om zo de dekking van een verzekeraar te bepalen, ook onafhankelijk zijn.

Voor de risicoanalyse wordt er een Monte-Carlo simulatie op de opgestelde pseudo-portefeuille toegepast. Uit de simulatie wordt er een zogenaamde exceedance curve verkregen, waarin het verlies van de portefeuille eens-in-de-zoveel-tijd afgelezen kan worden. De portefeuille bestaat uit 15 bonds en omvat 16 verschillende extreme rampen. De portefeuille heeft een totale waarde van 2,3 miljard dollar. Voor het analyseren van deze portefeuille wordt het verlies eens-in-de-100-jaar bepaald. Uit de analyse blijkt dat het verlies van de portefeuille 801 miljoen dollar te bedragen, waarbij de 1% VaR gelijk is aan 904 miljoen dollar bij een 99% betrouwbaarheidsinterval. Het verlies eens-in-de-100-jaar is kleiner dan het maximale verlies: de investeerder van deze portefeuille zit dus nog in de veilige zone.

Na de risicoanalyse wordt de pseudo-portefeuille vergeleken met de markt. Met als doel om de prestatie van de pseudo-portefeuille te meten. De meting wordt gedaan door de Sharpe ratio van de portefeuille te vergelijken met die van de markt. Het blijkt dat er heteroscedasticiteit

optreedt in de markt. De marktresiduen hebben geen constante variantie, omdat de grootte van de residuen met het risico toenemen. Voor het verwijderen van de heteroscedasticiteit worden de aanwezige uitbijters onderzocht. In de marktportefeuille zijn er 5 uitbijters te vinden: 3 bonds die negatieve vergoedingen aanbieden en 2 die illiquide zijn. Na het verwijderen van deze uitbijters is de heteroscedasticiteit uit de markt verdwenen. Dit resultaat is aangetoond aan de hand van QQ-plots en twee verdelingstoetsen: Jack Baque - en Lilliefors toets. Vanwege de aangepaste markt wordt er onderzocht of het verschil in Sharpe ratio's significant is. Uit het onderzoek mag er aangenomen worden, dat beide portefeuilles aan elkaar gelijk zijn.

In het laatste hoofdstuk worden drie waarderingsmodellen (Kreps model, Kreps & Major model en het LFC model) onderzocht. Met als doel om te bepalen welke model het geschiktste is om een nieuwe bond te waarderen en om daarna misschien toe te voegen aan de huidige portefeuille. De analyse begint bij het definiëren van 'goedkope' en 'dure' bonds. 'Goedkope' bonds zijn bonds die een te hoog rendement opleveren ten opzichte van de markt bij een onderliggend risico. Voor de 'dure' bonds geldt dat andersom. De modellen worden onderling vergeleken aan de hand van een classificatie naar 'goedkope' bonds. De classificatie wordt aangetoond door gebruik te maken van pivottabellen. Pivottabellen geven op een duidelijke wijze een overzicht van de classificatie weer. Na de onderlinge vergelijkingen blijkt het LFC model het beste model is om een nieuwe bond te waarderen.

1. De catastrofe bonds

1.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de catastrofe bonds (catbonds) beschreven. Een catbond is een financieel instrument, dat verzekeringsrisico aanbiedt aan investeerders in de kapitaalmarkt. Naast catbonds zijn er nog twee andere alternatieven om het risico van een verzekeringsmaatschappij te diversifiëren namelijk de catastrofe swaps en herverzekering. Door de mogelijkheid om een deel van de financiële schade van extreme rampen te verzekeren is het gebruik van de catbondmarkt een prima diversificatiestrategie voor een verzekeraar. De verschillende soorten catbonds, die in omloop zijn, onderscheiden zich door de manier waarop de schade na een extreme ramp wordt vastgesteld.

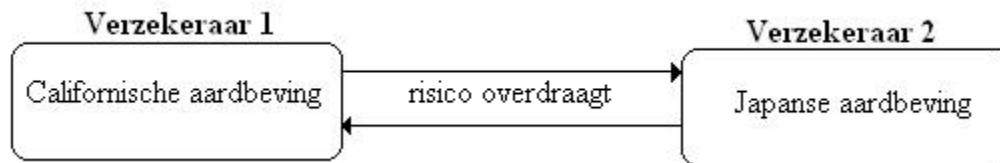
In dit hoofdstuk zullen vijf soorten catbonds beschreven worden:

- catbonds, waarbij de dekking gebaseerd is op de omvang van de schadevergoeding of claims
- dekking gebaseerd op een schade index trigger,
- dekking gebaseerd op een zuivere parametrisch index trigger,
- dekking gebaseerd op een parametrisch index trigger en
- dekking gebaseerd op een gemodelleerd-verlies.

Tot slot wordt de marktontwikkeling van catbonds besproken.

1.2 Het ontstaan van de catbonds

Voor het ontstaan van catbonds waren de alternatieven om het verzekeringsrisico te reduceren, beperkt tot catastrofe swaps (cat swaps) en herverzekeren. Het eerste alternatief, cat swaps, is het uitwisselen van gelijkwaardig risico tussen twee verzekeraars, zoals een Californische aardbeving met een Japanse aardbeving (zie figuur 1.1). Een vereiste aan dit alternatief is, dat het risico in verschillende locaties (werelddelen) moet voorkomen. Deze risico-uitwisseling werkt alleen als in beide landen geen aardbeving plaatsvindt. Hierdoor zullen de financiële gevolgen bij een aardbeving voor beide verzekeraars beperkter zijn.

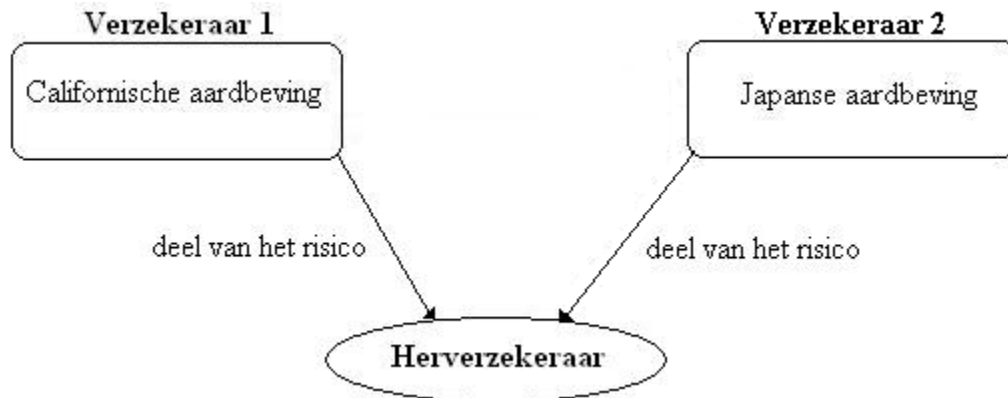


Figuur 1.1: Schematisch overzicht van een catastrofe swap.

Als er een aardbeving in Japan plaatsvindt dan wordt verzekeraar 1 geraakt. Hij heeft het risico overgenomen van verzekeraar 2 en moet dus garant staan voor de schades. Andersom geldt dat ook voor verzekeraar 2. In dit hele proces blijft er een risico bestaan, dat één van de verzekeraars niet aan zijn verplichtingen kan doen. Verzekeraar 1 kan bijvoorbeeld de schade niet aan verzekeraar 2 betalen en dit soort risico heet kredietrisico. Dus bij de cat swaps hebben beide partijen kredietrisico in de boeken gekregen in de plaats van het verzekeringsrisico.

Bij het tweede alternatief, een herverzekering, wordt een deel van het verzekeringsrisico van de verzekeraar 'overgenomen' door een herverzekeraar. Verzekeraars kunnen naast het onderling uitwisselen van risico's ook een deel van het risico afdragen aan een herverzekeraar. De herverzekeraar speelt een belangrijke rol voor de verzekeraars. De verzekeraar zal het risico niet in zijn geheel herverzekeren, omdat dan alle binnenstromende premies van verzekerden

direct doorstromen naar de herverzekeraar. En de verzekeraar zelf, verdient hieraan niets. Dit is dan ook de reden, dat de verzekeraar maar een deel van het risico herverzekert. In figuur 1.2 is het geheel afgebeeld.



Figuur 1.2: Schematisch overzicht van een herverzekering.

Als er een aardbeving in Californië en/of in Japan plaatsvindt dan kunnen de verzekeraar(s) een dekking ontvangen van de herverzekeraar, afhankelijk van de voorwaarden van het contract. Het contract kan bijvoorbeeld de schade boven een vastgestelde drempelwaarde vergoeden óf een percentage van de totale schade. De premie van het herverzekeringscontract is uiteraard afhankelijk van de voorwaarden van het contract. Hoewel een deel van het verzekeringsrisico uit de boeken van de verzekeraar is verdwenen, loopt de verzekeraar nu kredietrisico op de herverzekeraar. Deze structuur geeft nog niet het vertrouwen, dat de herverzekeraar aan zijn verplichtingen kan voldoen.

Bij het vergelijken van beide alternatieven blijft het verzekeringsrisico in het (her)verzekeringsmarkt. In het eerste alternatief wordt het risico onderling verwisseld en blijft daardoor in de verzekeringsmarkt. In het tweede wordt een deel van het risico afgedragen aan een herverzekeraar en het risico bevindt zich nu in de herverzekeringsmarkt. In het geval van ‘gewone’ rampen kan de herverzekeraar het risico goed diversifiëren in de herverzekeringsmarkt, maar het probleem zit hem in de extreme rampen zoals aardbeving, overstroming, orkanen etc. Dit soort risico’s zijn nauwelijks te diversifiëren in de herverzekeringsmarkt. De herverzekeraars moeten hiervoor forse reserves opbouwen, die mogelijk hun groei belemmeren.

Net als in figuur 1.2 heeft de herverzekeraar te maken met een extreme ramp en het zal dus een oplossing moeten vinden om dit soort risico te diversificeren. Daarnaast moet er een structuur gevonden worden die rekening houdt met kredietrisico. De herverzekeraar kan hiervoor een obligatielening afsluiten ter grootte van het overgenomen risico. Het dekt zich op deze manier voor beide soorten risico’s. Door de obligatielening kan de herverzekeraar altijd aan zijn verplichtingen voldoen en hierdoor verdwijnt het kredietrisico. De koper van de obligatie leent de herverzekeraar een bedrag tegen een aantrekkelijk rendement: rente plus een vergoeding. De herverzekeraars zijn bereid een hoog rendement te betalen aan investeerders voor het overnemen van het niet diversifieerbare risico. Via deze lening heeft de herverzekeraar het catastroferisico ondergebracht in de kapitaalmarkt, waarin het risico beter gediversifieerd kan worden.

De herverzekeraars gaat in het geval van extreme risico’s eerder naar de kapitaalmarkt dan naar de herverzekeringsmarkt vanwege de hoeveelheid risico’s die zij kunnen dekken. De kapitaalmarkt biedt grote hoeveelheden capaciteit aan om de risico’s te dekken. De risico’s

kunnen in de kapitaalmarkt breder verspreid worden, terwijl de herverzekeringsmarkt dit niet kan aanbieden: het biedt niet genoeg capaciteit hiervoor. Daarnaast wordt de kapitaalmarkt niet op directe wijze beïnvloed door het catastroferisico (dit zal in paragraaf 3.2 aangetoond worden), de herverzekeringsmarkt wel.

De bonds, die in de nieuwe structuur uitgegeven worden, heten ook wel catastrofe bonds (catbonds). Catbonds zorgen dus voor 2 innovaties: *verzekeringsrisico aanbieden* aan investeerders, waarbij er *geen kredietrisico* voor in de plaats komt.

1.3 Wat zijn catbonds?

Catastrofe bonds (catbonds) zijn een manier, waarop (her)verzekeringsmaatschappijen toegang kunnen krijgen tot de kapitaalmarkt. Een catbond is een protectie voor een (her)verzekeraar tegen extreme rampen. In het algemeen zijn dit extreme natuurrampen, maar dit hoeven niet alléén natuurrampen te zijn. Het kunnen ook industriële rampen zijn. Een investeerder koopt een bond en ontvangt hiervoor een vergoeding: rente plus een vergoeding, voor het gedekte risico. Indien zich een extreme ramp voordoet, is de investeerder een deel van het geïnvesteerde bedrag kwijt of in het ergste geval het gehele bedrag. De consequenties zijn vergelijkbaar met die van bedrijfsobligaties, waarbij de investeerder een groot deel van zijn inleg verlies. Net als bij bedrijfsobligaties is het verlies beperkt tot zijn inleg.

Catbonds worden gebruikt wanneer een verzekeraar een extra herverzekeringscapaciteit wil inkopen om zich voor extreme rampen in te kunnen dekken. Een deel van het risico wordt 'doorgegeven' aan een andere partij, de herverzekeraar. Hiermee kunnen eventuele uitkeringen aan verzekerden worden gegarandeerd en de herverzekeraar hoeft dan minder reserves op te bouwen, want dit ging normaliter via het eigendomskapitaal.

1.4 Soorten catbonds

De soorten catbonds worden onderscheiden aan de hand van triggers die een bond omvat. Een Trigger/Trigger event is een gebeurtenis of conditie, waarbij er een catastrofe gebeurtenis plaatsvindt. Bij een trigger event is de rechtspersoon, de "special purpose vehicle"¹, verplicht om de schade te dekken voor de verzekeringsmaatschappij. Dit hele proces verloopt via de herverzekeraar. De grootte van de dekking is afhankelijk van het contract, dat ze samen hebben opgesteld. Er zijn verschillende manieren om te achterhalen of een verzekeringsmaatschappij in aanmerking kan komen voor een schadevergoeding. Uitbetaling hangt niet af van de grootte van de geleden schade, maar van de waarde van een index. Een index is een meting van bijvoorbeeld een windsnelheid of aardbevingskracht, die gemeten is tijdens een ramp. Als een meting de vastgestelde waarde overschrijdt, kan de verzekeringsmaatschappij in aanmerking komen voor een schadevergoeding. Indices moeten worden vastgesteld op basis van gegevens van een onafhankelijke partij. Zo'n onafhankelijke partij is meestal een nationale weerinstituut zoals het KNMI. De 5 manieren om een index te bepalen, zullen hieronder beschreven worden.

1.4.1 Dekking gebaseerd op omvang schadevergoeding

Deze methode schat de schade in voor een verzekeringsmaatschappij na een ramp (of rampen). De verzekeraar kan gedekt worden voor de schade als het totale verlies een bepaalde grens

¹ De special purpose vehicle is een dochteronderneming van de herverzekeraar, dat zelfstandig en onafhankelijk is. In hoofdstuk 4 wordt de special purpose vehicle verder besproken.

overschrijdt. De schadevergoeding voor de verzekeraar is gelijk aan de werkelijke schade. Het niveau/grens zijn van te voren bepaald in het contract. Dit geldt ook voor de overige methodes. Dit model zorgt voor een langdurige afwikkeling tussen verzekeraar en investeerder. Het proces om de schade te bepalen na een extreme ramp zal veel tijd kosten en is afhankelijk van de binnenstromende claims. Dit is ook de reden dat dit geen aantrekkelijke methode is voor een investeerder. De investeerder wil de impact van zijn verlies snel bepalen voor zijn verdere investeringen/beslissingen.

1.4.2 Dekking gebaseerd op een schade index trigger

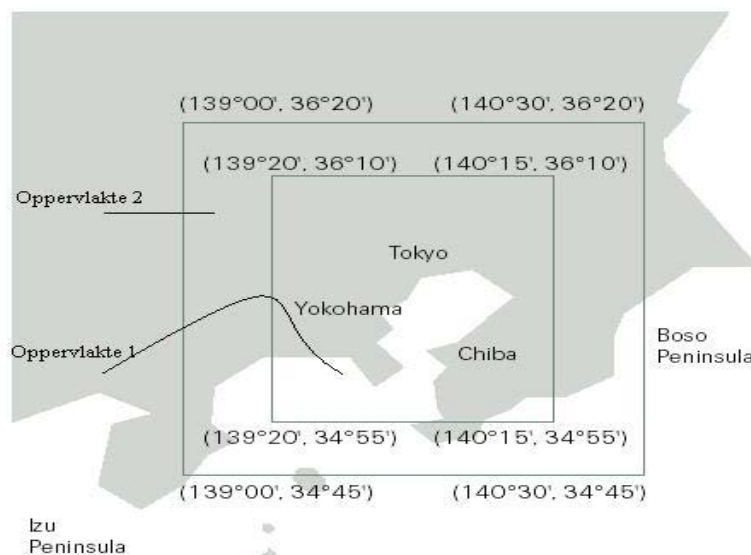
De trigger gebeurt, net als bij de vorige methode, pas wanneer de schade een afgesproken schadegrens overschrijdt. Het verschil zit hem in de uiteindelijke dekking voor een verzekeringsmaatschappij. Met deze methode ontvangt de verzekeringsmaatschappij een percentage van het totale verlies boven een afgesproken schadegrens.

Ook bij dit model duurt de afwikkeling lang, zodat het voor een investeerder geen aantrekkelijke methode is.

Voorbeeld: Stel de vastgestelde schadegrens is gelijk aan 80 miljoen dollar en na een ramp is de werkelijke schade 120 miljoen dollars. De dekking voor de verzekeraar is afhankelijk van het percentage. In dit voorbeeld is het percentage vastgesteld op 90%. De uiteindelijke dekking is dus $0,9 * (120 - 80) = 36$ miljoen dollar.

1.3.3 Dekking gebaseerd op een zuivere parametrische trigger

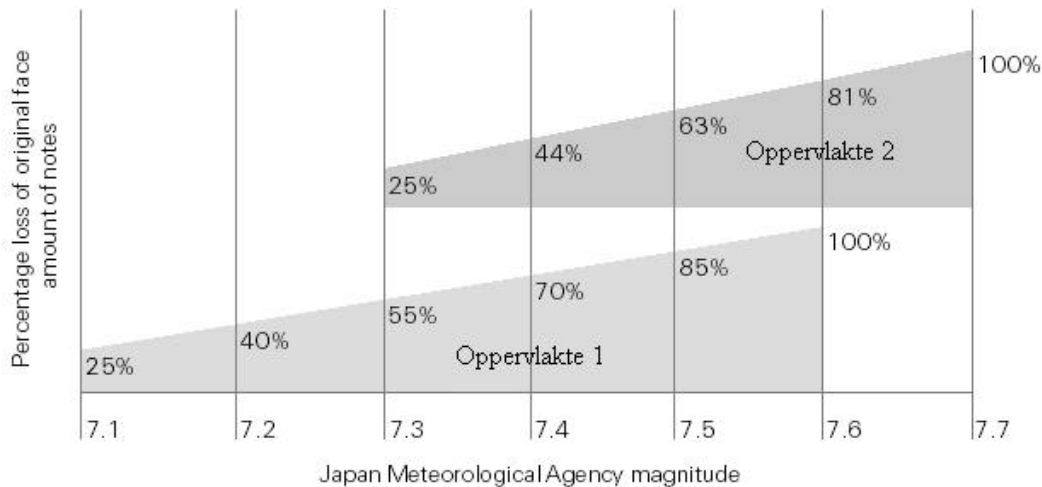
De verzekeringsmaatschappij ontvangt een dekking afhankelijk van de locatie en de kracht van een ramp. De dekking is hierbij onafhankelijk van de werkelijke geleden schades. Ter verduidelijking zullen de gevolgen van een aardbeving in Japan onder de loep genomen worden. In figuur 1.3 is een overzicht te zien van een landschapsverdeling in Japan.



Figuur 1.3: Landschapsverdeling in Japan (bron: Swiss Re)

In de twee oppervlaktes gelden er andere regels, die vaststellen wanneer en voor hoeveel een verzekeraar gedekt kan worden voor de schade. Voor een extreme ramp als bijvoorbeeld een

aardbeving, wordt dat beslist aan de hand van de aardbevingskracht (de magnitude) in een bepaalde locatie. De locatie én magnitude vormen dus samen de trigger in dit voorbeeld. In de binnenste oppervlakte waarin belangrijkste steden (oppervlakte 1) te vinden zijn, zal de trigger natuurlijk sneller gehaald worden dan een gebied met alleen natuur en dorpen (oppervlakte 2). Dit is duidelijk te zien in figuur 1.4.



Figuur 1.4: Overzicht van de magnitude en dekkingpercentage in beide oppervlaktes (bron: Swiss Re)

In dezelfde figuur is naast de trigger ook het dekkingpercentage, horende bij een magnitude, weergegeven. De schadevergoeding voor een verzekeraar hangt per saldo dus af van drie aspecten: locatie, de grootte van de magnitude en dekkingpercentage.

Uit figuur 1.4 is een drietal belangrijke verschillen tussen de twee oppervlaktes op te maken: Ten eerste de binnenste oppervlakte (oppervlakte 1) wordt eerder geraakt dan de buitenste oppervlakte (oppervlakte 2). Deze oppervlaktes worden geraakt bij een magnitude van respectievelijk 7,1 en 7,3.

Ten tweede is het domein van de trigger voor de binnenste oppervlakte groter dan de buitenste oppervlakte, waarbij de trigger voor de binnenste oppervlakte tussen 7,1 en 7,6 ligt en voor de buitenste is dat tussen 7,3 en 7,7.

Ten derde ontvangt een verzekeraar verschillende schadevergoedingen, afhankelijk van de locatie. Bij een magnitude van 7,5 ontvangt de verzekeraar maar liefst 85% (in oppervlakte 1) van de schade als dekking. In de buitenste oppervlakte zou dat maar 63 % zijn.

Het is ook voor een verzekeraar mogelijk om, in het ergste geval, in beide oppervlaktes volledig gedekt te worden.

1.4.4 Dekking gebaseerd op een parametrisch index trigger

De parametrisch index trigger is een aanpassing van de zuivere parametrisch index trigger. Het verschil ligt hem in de oppervlaktes en dekkingpercentages. De oppervlaktes zijn van andere groottes en de dekkingpercentages zijn aangepast. De parametrisch index geeft een nauwkeurigere benadering van de schade dan de puur parametrisch index trigger, omdat deze methode met meer aspecten rekening houdt. De parametrisch index trigger kan via een formule worden weergegeven:

$$Schade = K * \sum_{i=1}^j w_i * (v_i - L)^n, \text{ met}$$

- K een constante
- j aantal locaties
- i een relevante locatie
- w_i het relevante dekkingspercentage voor locatie i
- v_i maximum windsnelheid in locatie i
- L is een constante en is de minimale windsnelheid, waarbij er dekking is
- n is een constante

De formule is voor een storm opgesteld, maar het kan ook voor andere rampen toegepast worden.

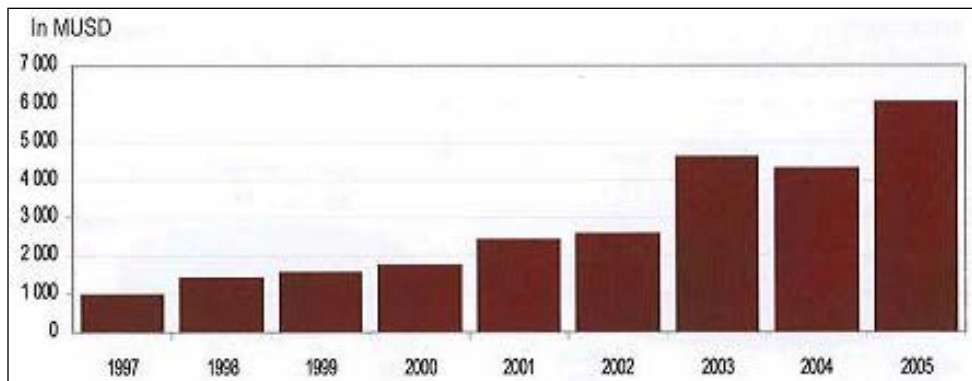
1.4.5 Dekking gebaseerd op een gemodelleerd-verlies

Deze trigger gebruikt een computermodel voor het schatten van schades. Een vereiste aan het computermodel is dat het niet meer aangepast kan worden en dit betekent dus dat er niet aan het model gesleuteld kan worden na een extreme ramp. Het zit veilig verborgen achter slot en grendel.

In het computermodel worden de parameter(s) (windsnelheid, aardbevingskracht etc.) van de ramp ingevuld en het berekent de verwachte schade voor de verzekeraar. Dit soort trigger is vergelijkbaar aan de parametrisch index trigger.

1.5 Ontwikkeling van catbonds

Door extreme rampen is het ontstaan van catbonds enorm van belang. Het geeft de mogelijkheid om zich tegen catastroferisico te verzekeren. Dit zorgt voor een nieuwe asset klasse op de balans. Het is nog niet mogelijk om voor alle risico's in te dekken zoals bijvoorbeeld (burger)oorlog. In figuur 1.5 is de omvang van uitstaande credit bonds afgebeeld.



Figuur 1.5: Groeioverzicht van catbonds (bron: IXIS)

Uit het figuur kan afgelezen worden, dat de waarde van alle uitstaande catbonds ongeveer 1 miljard USD bedroeg in 1997. De jaren daarna groeiden de bonds licht. Na 2002 is de groei sterk gestegen tot een marktwaarde van 6 miljard.

Op dit moment kunnen investeerders in 16 verschillende gebeurtenissen investeren. Deze zijn in tabel 1.1 weergegeven. Naast de extreme rampen (aardbeving, wind, storm en orkaan) kan men zich ook indekken tegen de gevolgen van extreme sterfte en industriële ongelukken.

Gebeurtenis	Betekenis
USW	US East Coast Hurricane
HIW	Hawaii Hurricane
CAQ	California Earthquake
NMQ	New Madrid Earthquake
PWQ	Pacific NW US Earthquake
SCQ	South Carolina Earthquake
JPQ	Japan Earthquake
JPW	Japan Wind
EUW	European Windstorm
MQA	Mexico Earthquake Zone B
MQB	Mexico Earthquake Zones A & C
MRT	Extreme Mortality
AUQ	Australian Earthquake
AUW	Australian Typhoon
IN1	Industrial Cat1
KOW	Korea wind

Tabel 1.1: Overzicht van alle gedekte rampen.

2. Vanuit het gezichtspunt van een verzekeringsmaatschappij

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt naar catbonds gekeken vanuit het perspectief van een verzekeringsmaatschappij. De vraag die een verzekeraar kan stellen is: wat voor nut hebben catbonds voor mij, wat krijg ik terug voor de hoge premies die investeerders van mij eisen? Om deze vraag te beantwoorden zullen eerst de extreme rampen die voor kunnen komen, beschreven worden. Daarnaast worden de mogelijke verzekerden voor elk soort ramp geïdentificeerd. Verder zal de rampenregeling in Nederland besproken worden, waarbij vooral gekeken wordt hoe Nederland omgaat met extreme rampen, qua dekking na een ramp. Als laatste worden de redenen van verzekeraars gegeven die een deel van het risico herverzekeren.

2.2 Soorten catastrofische gebeurtenissen

Catastrofische gebeurtenissen zijn gebeurtenissen die met kleine kansen voorkomen, waarbij de financiële schade enorm zijn. Deze gebeurtenissen komen eens in de 100 jaar voor.

De catastrofische gebeurtenissen kunnen in twee categorieën ingedeeld worden namelijk:

- Natuurlijke rampen
- Industriële rampen

2.2.1 Natuurlijke rampen

Natuurlijke rampen zijn rampen die door invloed van de natuur veroorzaakt worden. Het zijn vooral particulieren, bedrijven en gemeenten die zich tegen dit soort extreme rampen verzekeren, omdat deze rampen jaarlijks vele malen voor kunnen komen. De verzekerden leven in een risicogebied, waarbij het verstandig is om zich tegen dit soort risico's te verzekeren.

De volgende gebeurtenissen kunnen onder het kopje “natuurlijke rampen” geplaatst worden.

2.2.1.1 Overstromingen

Overstromingen komen bijna overal in de wereld voor. Bij elke overstroming kan er sprake zijn van economische schade en leed bij mensen. Overstromingen hebben een verwoestende uitwerking, zoals de overstroming van de Donau en zijrivieren in Hongarije, waardoor het openbare leven in Boedapest onmogelijk was.

2.2.1.2 Stormen

Er is sprake van een storm als de gemiddelde windsnelheid over een periode, van 10 minuten, 75 km/uur bereikt. Dit komt overeen met windkracht 9 op de schaal van Beaufort. In figuur 2.1 is de schaal van Beaufort afgebeeld, waarin de krachten, benaming, snelheid en kenmerken staan vermeld.

De ergste storm die voorkwam in Nederland dateert uit 1953 en leidde tot de waternoodramp in Zeeland. Er was veel schade aan gebouwen en landbouw, waarbij vele inwoners verdronken. In

deze eeuw kwam in totaal 35 keer een zware storm, met een windkracht tussen 9 en 11, voor in Nederland.

Kracht	Benaming	m/s	km/u	Kenmerken
0	Windstil	<0.2	< 1	Rook stijgt (recht) omhoog
1	Zwakke wind	0.3-1.5	1-5	Rookpluimen geven richting aan
2	Zwakke wind	1.6-3.3	6-11	Bladeren ritselen
3	Matige wind	3.4-5.4	12-19	Bladeren, twijgen voortdurend in beweging
4	Matige wind	5.5-7.9	20-28	Stof en papier dwarrelen op
5	Vrij krachtige	8.0-10.7	29-38	Takken maken zwaaiende bewegingen
6	Krachtige	10.8-13.8	39-49	Grote takken bewegen
7	Harde wind	13.9-17.1	50-61	Bomen bewegen
8	Stormachtige	17.2-20.7	62-74	Twijgen breken af
9	Storm	20.8-24.4	75-88	Takken breken af, dakpannen waaien weg
10	Zware storm	24.5-28.4	89-102	Bomen worden ontworteld
11	Zeer zware	28.5-32.6	103-117	Uitgebreide schade bossen en gebouwen
12	Orkaan	>32.6	>117	Niets blijft meer overeind

Figuur 2.1: Overzicht van de schaal van Beaufort (Bron: www.ilselinge.nl)

2.2.1.3 Tropische depressie

Orkanen² zijn een tropische depressie met doorstaande stormwind van kracht 12 op de schaal van Beaufort (zie figuur 2.1) en zijn te vinden in de volgende tropische gebieden: Caribische en Noord-Atlantisch gebied, noordoostelijke deel van de Atlantische Oceaan en zuidwestelijke deel van de Stille Oceaan. In Azië en Australië worden de orkanen als tyfonen/cyclonen aangeduid.

Tropische orkanen komen alleen in bepaalde gebieden voor waar de zeevatertemperatuur hoog genoeg is, de lucht vochtig en de wind niet te krachtig. Orkanen halen hun energie uit het warme zeewater waarvan de temperatuur minimaal 26 graden bedraagt. In een orkaan beweegt de lucht in een spiraalvormige beweging van buiten naar binnen en neemt daarbij zeer veel vocht en warmte van het warme water op. De lucht stijgt vervolgens op naar 12-15 km hoogte, hieruit ontstaan er zware buien. In deze buien komt zeer veel energie vrij en de kern van de orkaan is hierdoor ongeveer 10 graden warmer dan de buitenkant. Aan de bovenkant van de orkaan spiraliseert de lucht vervolgens weer naar buiten en daalt weer naar zeeniveau.

De orkaan Katrina³ in de staat New Orleans is een goed voorbeeld. Katrina zorgde ervoor dat de hele staat bijna onbewoonbaar werd. Het trieste aan de ramp was dat de inwoners niet verzekerd waren tegen overstromingen. De inwoners konden geen dekking ontvangen van de verzekering, omdat overstromingen niet gedekt worden in hun verzekeringspolis (home insurance). De kosten van Katrina worden geschat op 75 miljard dollars.

2.2.1.4 Aardbevingen

Afhankelijk van hoe erg de aardbeving is op de schaal van Richter, kan de schade oplopen van niets tot enorm. In figuur 2.2 is een overzicht van Richters schaal afgebeeld.

² Het is leuk om te weten dat de engelse benaming van orkaan, hurricane, afgeleid is van Hunrakan. De stormgod van de indianen.

³ Orkaan Katrina brak een dijk en zorgde ervoor dat New Orleans overstromd werd.

Kracht	Benaming	Kenmerken
1	zeer lichte aardbeving	geen schade
2	zeer lichte aardbeving	trillingen voelbaar, geen schade
3	lichte aardbeving	ramen en deuren rammelen, losstaande voorwerpen vallen om
4	lichte aardbeving	schrikreacties, veel voorwerpen vallen om, scheuren in minder sterke huizen
5	lichte aardbeving	schoorstenen breken, leidingen lekken
6	zware aardbeving	paniek bij mensen en dieren, spoorrails verbuigen, minder sterke huizen storten in
7	zware aardbeving	zware schade aan veel gebouwen en ondergrondse leidingen worden vernield
8	zeer zware aardbeving	algemene verwoesting van gebouwen.
9	zeer zware aardbeving	niets blijft overeind, rotsen breken in stukken, veel aardverschuivingen

Figuur 2.2: Overzicht van de schaal van Richter.

Op 26 december 2004 veroorzaakte een aardbeving (zeebeving) bij Sumatra een tsunami en was verantwoordelijk voor de enorme gevolgen. Vele hectares grond werden overstroomd door het zeewater en er vielen vele doden. De economie van de getroffen landen heeft veel te lijden gehad onder de tsunami, doordat vrijwel alle gebouwen en wegen door de tsunami waren verwoest. Hele stukken land moesten opnieuw opgebouwd worden.

2.2.1.5 Temperatuur

Een ernstig gevolg van het broeikaseffect⁴ is het opwarmen van de aarde. Een versterkt broeikaseffect kan een wereldwijde klimaatverandering tot gevolg hebben. Dit zou kunnen zorgen voor grote overstromingen, extreme weersomstandigheden, droogte en onvruchtbare landbouwgrond.

2.3 Extreme industriële rampen

Extreme industriële gebeurtenissen zijn gebeurtenissen, die catastrofe ongevallen kunnen veroorzaken. Deze worden onder andere veroorzaakt door menselijk falen. Hieronder zijn een aantal rampen opgenoemd.

- chemische rampen: vrijkomen van gifgassen en andere gevaarlijke stoffen.
- bacteriologische rampen: vrijkomen van ziekteverwekkende bacteriën.
- atomaire rampen: het vrijkomen radioactiviteit.

Bij dit soort rampen zijn het vooral bedrijven die zich tegen deze industriële rampen verzekeren, omdat deze bedrijven verantwoordelijk gehouden kunnen worden voor één van deze rampen.

2.4 Recente of nieuwe ontwikkelingen

Voor een verzekeraar is het belangrijk om in te spelen in nieuwe opkomende extreme rampen, daarbij moet een verzekeraar onderzoeken welke partijen zich voor een dergelijk ramp willen verzekeren. Er zijn tal van epidemieën in de wereld voorgekomen of heersen nog zoals blauwtong, vogelpest etc. Het zijn vooral pluimveebedrijven/veetelers die de dupe zijn van deze epidemieën, daarnaast kan de epidemie ook een gevaar opleveren voor de inwoners.

⁴ De warmte die de aarde uitstraalt naar het heelal wordt weer teruggekaatst. De atmosfeer en de aarde worden verwarmd.

Om de gevolgen van de epidemie, dat bij een bedrijf optreedt, te minimaliseren moet al het (pluim)vee gedood worden om uitbraak naar andere bedrijven te voorkomen. De eigenaar verliest hierdoor veel van zijn inkomsten of gaat misschien zelfs failliet.

Naast deze ramp is er ook stijging van terroristische acties. Terrorisme zorgt naast vele slachtoffers ook voor veel financiële schade. Beurskoersen kunnen na de aanslag flink inzakken. Luchtvaartmaatschappijen en toerisme verwante bedrijven lijden enorme verliezen. Grote sportevenementen, zoals het olympische spelen en WK/EK voetbal, kunnen door het terreurrisico niet plaatsvinden en moeten hierdoor verplaatst worden.

Het zijn vooral bedrijven die zich voor deze rampen verzekeren, omdat een epidemie/terroristische actie voor hen grote gevolgen kan hebben. Op dit moment is het mogelijk om zowel voor terrorisme als voor vogelziekte een verzekering af te sluiten.

Vogelgriep

Het Franse Axa heeft een poging gedaan om nieuwe catbonds, met als onderliggende ramp de *vogelgriep*, uit te geven ter waarde van 100 miljoen euro. De bond wordt geraakt als er in twee achtereenvolgende jaren 10 procent meer doden vallen dan gemiddeld.

Terrorisme

Terrorisme is overal te vinden in de wereld. Vele organisaties zijn verantwoordelijk voor terroristische gebeurtenissen in de wereld. De wereld is anders gaan aankijken tegen de gevolgen van terrorisme. Tegenwoordig kan men zich indekken tegen de gevolgen van dit soort risico.

Zoals recentelijk bij de WK: de FIFA had voor dit evenement catbonds laten uitschrijven ter waarde van 266 miljoen dollar, zodat het zich kon indekken tegen vooral terreurrisico's. Een ongunstig gevolg hiervan is dat het evenement een jaar naar voren moet worden verschoven vanwege onveiligheid.

2.5 Rampenregeling in Nederland

In Nederland is het nog niet mogelijk om tegen één van deze extremen rampen te verzekeren. De overheid is wel bezig om de schades op een zo goed mogelijke manier te vergoeden en wil het zo regelen dat de burgers zelf meer bijdragen aan de schade. Dit is afhankelijk of de burger wel/niet in een risicogebied woont. Als dit het geval is moet de burger zich extra indekken tegen rampen.

Vanwege de mogelijkheid om langs grote rivieren te wonen is dit één van de risicogebieden, omdat hier een grotere kans op overstroming bestaat. Uit een onderzoek, uitgevoerd door Munich Re, blijkt dat er een toename is van natuurrampen in Europa. Dit heeft als gevolg dat de kans op overstromingen groter wordt.

2.6 Redenen voor risico verschuiving naar een herverzekeraar

Catbond is dus een alternatief voor het herverzekeren van risico's. De redenen die ervoor zorgen dat verzekeraars hun risico herverzekeren zijn:

- Instellingen die een portefeuille hebben die enorm is blootgesteld aan catastrofische gebeurtenissen, zoals orkanen en windstormen, zijn genoodzaakt om een deel van hun

- risico te herverzekerden. Naast deze instellingen kunnen ook gemeenten en particulieren zich verzekeren tegen dit soort risico's.
- Kleine instellingen zoeken meer dekking in het herverzekerden dan grote internationale instellingen. Dit komt doordat grotere instellingen veel beter hun risico kunnen diversifiëren, omdat ze beschikken over een grotere klantenkring en grote scala van producten.
 - Er zijn verschillende soorten verzekeringsmaatschappijen. Er zijn maatschappijen, die een veelheid van risico's verzekeren. Zulke maatschappijen beschikken vaak over een goed gebalanceerde balans (door diversificatie).
Daarnaast zijn er verzekeringsmaatschappijen die zich specialiseren op slechts enkele soorten risico's. Zulke maatschappijen zullen eerder een deel van hun risico gaan herverzekerden dan de eerst genoemde verzekeringsmaatschappijen.
 - Portefeuilles met een kleine hoeveelheid risico en een grote blootstelling aan gebeurtenissen, zoals bijvoorbeeld verzekeraars die actief zijn in de vliegtuigsector, hebben meer risicodekking nodig dan portefeuilles met een kleiner risico en bijna stabiele blootstelling, bijvoorbeeld een motorverzekering.
Dit kan samengevat worden tot portefeuilles met kleinere verliezen die in grote aantallen voorkomen, tegen grote verliezen die alleen in zeldzame gebeurtenissen voor kunnen komen. Het verwachte verlies voor beide portefeuilles is gelijk aan kans op een verlies vermenigvuldigd met de omvang.
 - Bij het verbreden van producten of uitbreiding kan er een deel van het risico herverzekerd worden. Het is nooit een zekerheid dat een nieuw product aanslaat bij de consument. Voor als deze onzekerheden kan men een deel van het risico 'doorgeven' aan een herverzekerder. Het risico dat een tegenpartij niet aan haar contractuele verplichtingen kan voldoen. Stel een bedrijf leent een bedrag bij een bank. De bank loopt een risico als het niet zeker is dat het bedrijf de lening terug kan betalen (kredietrisico).

De opgesomde redenen kunnen niet allemaal via catbonds verzekerd worden. Dit is alleen mogelijk voor het eerste punt. Voor de overige redenen kan men via andere beleggingsproducten verzekerd worden.

3. De catbondstructuur

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de deelnemers die meedoen in de catbondstructuur beschreven: verzekerde, verzekeringsmaatschappij, herverzekeringsmaatschappij, SPV en een investeerder. De procedure van de hele structuur wordt uitvoerig besproken, waarbij de relaties tussen deelnemers aan bod komen. Om een idee te geven hoeveel rampen in een regio voor kunnen komen, waarbij het aantal slachtoffers en grootte van de gedekte schade bijgehouden worden, zal het jaar 2005 als voorbeeld genomen worden.

3.2 Deelnemende partijen

De deelnemers die meedoen aan de transactie zullen één voor één besproken worden, waarbij aan het eind de catbondstructuur beschreven zal worden.

3.2.1 Verzekerde

Verzekerden zijn personen die zich willen verzekeren tegen één of meerdere catastrofale gebeurtenissen. Niet alleen personen kunnen zich verzekeren tegen deze gebeurtenissen, maar ook bedrijven, gemeenten etc. De verzekeraars zijn de organisatoren van het gehele proces.

3.2.2 Verzekeringsmaatschappij

Een verzekeringsmaatschappij biedt verzekeringen aan en keert volgens vastgelegde voorwaarden uit. De verzekeraar moet voor elk soort risico in de portefeuille een kapitaal opzij zetten, om zo aan de verplichtingen te kunnen voldoen in geval van uitkering. Om uitkering te garanderen kan de verzekeraar een deel van het risico herverzekerden. Dit vindt doorgaans plaats als het totale risico op de balans groter is dan het financiële draagvlak.

3.2.3 Herverzekeringsmaatschappij

Een herverzekeringsmaatschappij⁵ biedt bescherming aan een verzekeringsmaatschappij als die een deel van het risico wil 'kwijtraken'. Het dient als een soort bufferfunctie voor een verzekeringsmaatschappij en is een goed alternatief om risicocompensatie te leveren.

Herverzekeringsmaatschappijen kunnen gezien worden als de ruggengraat van de verzekeringsindustrie.

Het hoofddoel van een herverzekerder is dus om verzekeraars te beschermen, tegen voor hen te grote risico's. Dit kan alleen gedaan worden als het overgedragen risico geen problemen kan veroorzaken voor de herverzekerder zelf. Het is ook weer mogelijk dat de herverzekerder een deel van het overgenomen risico weer 'doorschuift' aan een andere herverzekerder.

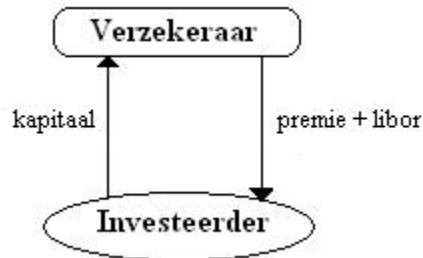
3.2.3 Special purpose vehicle

De special purpose vehicle (SPV) is een entiteit, een rechtspersoon, die de gewenste zekerheid/bescherming verschaft tussen herverzekerder en investeerder. Dit zorgt ervoor, dat beide partijen aan hun verplichtingen kunnen voldoen en voorkomt zo kredietrisico. De entiteit

⁵ Herverzekeringsmaatschappijen kunnen veelal herkend worden aan de afkorting Re (reinsurer) achter de bedrijfsnaam.

is een dochteronderneming van de herverzekeraar, maar het is een zelfstandige en juridisch onafhankelijke onderneming.

Het is ook mogelijk om de structuur zonder de tussenkomst van een SPV op te stellen. Deze catbondstructuur is in figuur 3.1 afgebeeld. De verzekeraar en investeerder gaan met elkaar in zee, maar dit zal niet lang standhouden vanwege onzekerheden bij beide partijen.



Figuur 3.1: Schematisch overzicht van een catbondstructuur zonder SPV

De investeerder is niet 100% zeker dat hij zijn kapitaal terug kan krijgen als er niets gebeurt en andersom is het ook mogelijk dat de verzekeraar geen geld ontvangt van de investeerder als er wel iets gebeurt. Beide partijen lopen kredietrisico. Dit soort risico kan simpel opgelost worden door een SPV op te richten en alles via een SPV te regelen. Hij is ook diegene die de schuldpapieren, catbonds, uitgeeft, maar dat kunnen ook andere risico/winstdragende objecten zijn. Het uitgeven van catbonds gebeurt pas als een contract is opgesteld tussen herverzekeraar en SPV.

De SPV's zitten meestal in landen waar minder belasting hoeft te worden betaald zoals in de Kaaimaneilanden en Bermuda. De genoemde landen kennen vaak een lagere inkomstenbelasting, vennootschapsbelasting, vermogensbelastingen en dividendbelasting. De SPV hoeft dan nauwelijks belasting te betalen over de premies die hij van de herverzekeringsmaatschappij ontvangt, hierdoor gaat er tussendoor vrijwel geen geld verloren. Het hele risico blijft door deze constructie gewoon verzekerd. Deze constructie komen we ook veel tegen bij captives-constructies⁶ en administratiekantoren.

3.2.4 Investeerder

De investeerder is de belangrijkste deelnemer in de transactie. Hij is de deelnemer die kan bepalen of de hele transactie wel/niet slaagt. Er moet interesse zijn om het schuldpapier te kopen. Het rendement dat aangeboden wordt, moet aantrekkelijk genoeg zijn om in catbonds te investeren. Anders zal de transactie falen en loopt de herverzekeraar een groot risico. De herverzekeraar kan niet meer garanderen dat hij een schadeclaim, die van de verzekeraar vandaan komt, kan voldoen.

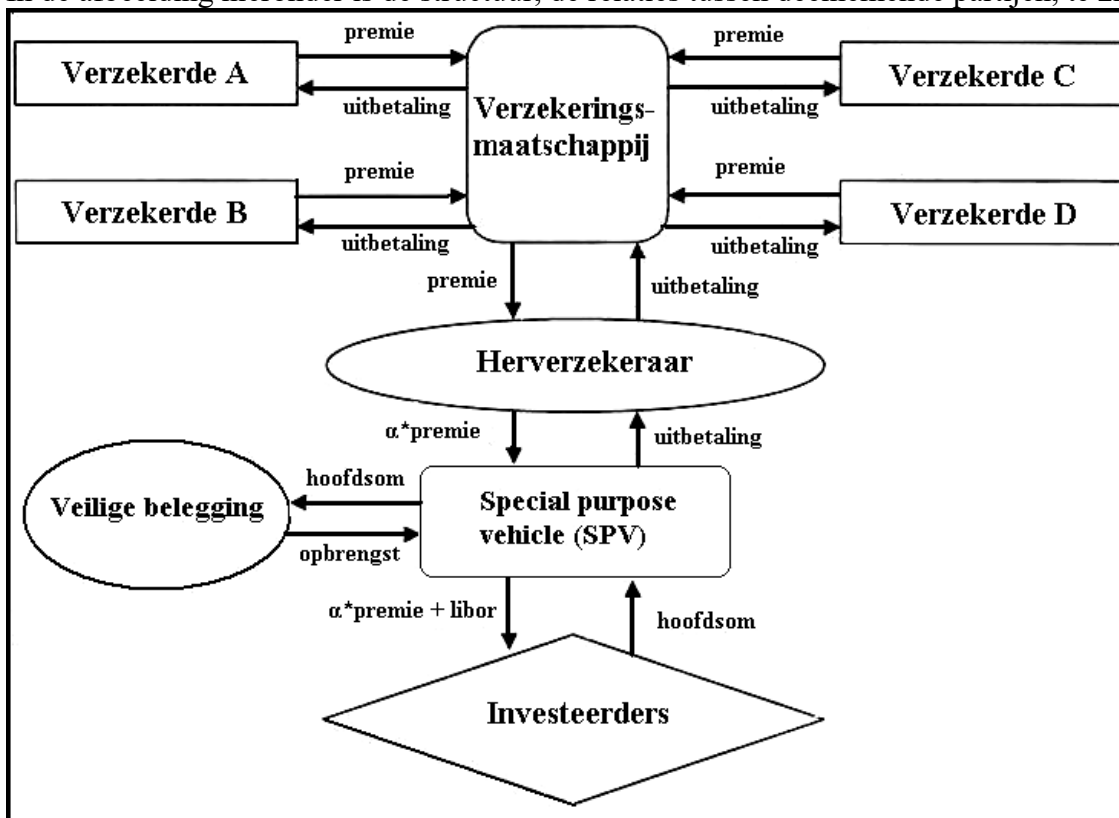
3.2.5 Procedure

In figuur 3.2 is er een mogelijke oplossing voor het afdekken van catastrofe risico's met vier verzekerden, verzekerde A tot en met verzekerde D, afgebeeld. De verzekerden betalen een premie aan de verzekeringsmaatschappij. Bij het optreden van een gebeurtenis, waar de verzekerden zich tegen gedekt hebben, kunnen de verzekerden rekenen op een uitbetaling van de kant van de verzekeringsmaatschappij. Om de uitbetaling te kunnen garanderen brengt de verzekeringsmaatschappij een (groot) deel van het risico onder bij een

⁶ Een bedrijf verzekert zich bij een dochterbedrijf in plaats bij een professionele verzekeraar.

herverzekeringsmaatschappij. De herverzekeraar sluit met een SPV een contract. De SPV neemt het risico over van de herverzekeraar en is diegene die de bonds uitschrijft. De investeerders kunnen speculeren op het al dan niet optreden van het betreffende risico. Bij het niet optreden van een gebeurtenis kan de investeerder geld verdienen (som van de couponbetalingen). Maar als er op een gegeven moment toch een gebeurtenis optreedt, lijdt de investeerder verlies. In het volgende hoofdstuk zal er een getallenvoorbeeld gegeven worden. De herverzekeringsmaatschappij financiert dit geheel met een deel van de betaalde premies: $\alpha * \text{premie}$. Vooraf wordt er een rentevoet, *libor*⁷ plus een vaste opslag, vastgesteld. Op 5 december 2006 was de maandelijkse⁸ *libor* 3.59%. De vaste opslag is meestal het aangeboden rendement van een bond. De rendementen lopen van 0,9% tot 39,25%. Het ingelegde bedrag, hoofdsom, kan door de SPV winstgevend worden belegd. Meestal zijn dit beleggingen in minder riskante producten zoals staatsobligaties. Uit de opbrengst van deze belegging wordt eerst de *libor* aan de investeerder betaald en het restant gaat naar de SPV zelf. Treedt het risico op, dan verliest de investeerder een gedeelte van het ingelegde bedrag. Dit heeft als gevolg dat de couponbetaling lager uitvalt en uiteindelijk kan de investeerder verlies lijden. In het ergste geval (worst-case-scenario) verliest de investeerder zijn gehele inzet. Echter, treedt het betreffende risico niet op, dan kan de investeerder een aanzienlijke rente, over het ingelegde bedrag, verwachten.

In de afbeelding hieronder is de structuur, de relaties tussen deelnemende partijen, te zien.



Figuur 3.2: Schematisch overzicht van de catastrofe bondstructuur.

⁷ Libor staat voor: London Interbank Offered Rate en is het basisrentepercentage waartegen banken elkaar geld uitlenen.

⁸ Via Bloomberg verkregen.

Om een indicatie te geven hoeveel rampen er jaarlijks ongeveer gebeuren, wordt het jaar 2005 als basis genomen. In de tabel 3.1 wordt er gekeken naar vier regio's: Noord Amerika, Europa, Azië en overig. Voor elk regio wordt het aantal rampen, aantal slachtoffers en gedekte schade bijgehouden.

In de tabel steekt Azië ver boven de rest uit qua aantal rampen in dat jaar. Er waren wel 208 rampen voorgekomen, waarbij er 89633 doden vielen. In de overige regio's ging het er minder heftig aan toe als in Azië. Noord Amerika was het best gedekt tegen rampen; het had een schadedekking ter waarde van 72,6 miljard dollar. Dit had vast te maken dat burgers/instellingen/ gemeenten in Noord-Amerika tegen allerlei rampen konden verzekeren, terwijl dit in de overige regio's niet zo makkelijk ging. Hiervoor kunnen een aantal redenen opgenoemd worden: In deze regio's was het niet mogelijk om tegen alle voorgekomen rampen te verzekeren. Of de verzekeringspremies waren zo hoog, waardoor het financieel niet meer betaalbaar was.

Regio overzicht						
Regio	Aantal	%	Slachtoffers	%	Gedekte schade (in mln USD)	%
Noord Amerika	54	13,6	3781	3,9	72633	87,1
Europa	59	14,9	659	0,7	7039	8,4
Azië	208	52,4	89633	92,4	2660	3,2
Overig	76	19,1	2945	3	1064	1,3
Wereld totaal	397	100	97018	100	83396	100

Tabel 3.1: Overzicht van het aantal rampen, slachtoffers en de gedekte schades per werelddeel in 2005 (Bron: Swiss Re)

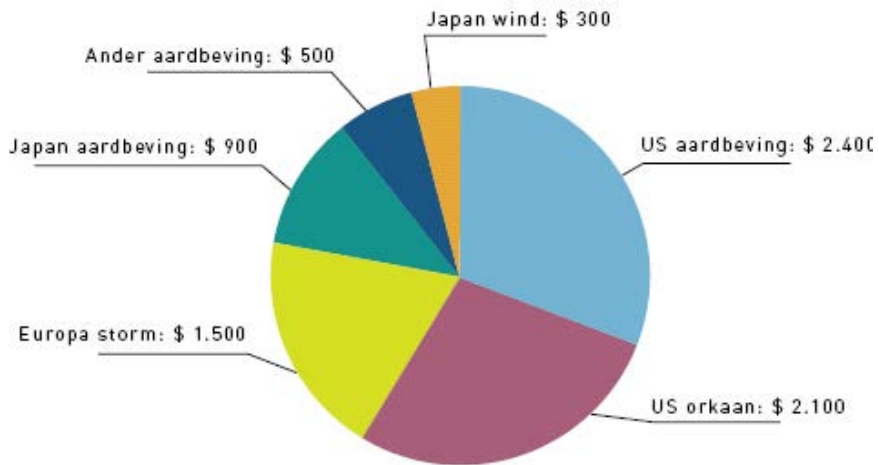
Figuur 3.4 is een overzicht van de uitstaande catastroferisico's (in miljoen dollars) per eind 2005. Er zijn vier rampen te onderscheiden: aardbeving, wind, orkaan en storm. Het figuur geeft aan hoeveel geld er voor elk soort risico is ingedekt. De som van de waarden in figuur 3.4 komt hoger uit dan de uitstaande catbonds die een waarde heeft van ongeveer 7 miljard. Het verschil komt doordat multi peril bonds (= bonds die meerder gebeurtenissen omvat) meer en verschillende risico's dekken dan de waarde van de bond.

Bond	omvang (\$Mln)	USW	CAQ	NMQ	PWQ	JPQ	JPW	EUW	MQA	AUQ	AUW
Obl 3	142	0,01	0,0028	0,0015	0,0001						

Figuur 3.3: De "kans op eerste dollar verlies" voor bond 3.

In figuur 3.3 is een multi peril bond te zien die 4 extreme rampen omvat. Deze bond heeft dus 4 mogelijkheden om geraakt te worden en bij elk mogelijkheid verliest de investeerder de hoofdsom: 142 miljoen dollars. Voor het bepalen van het uitstaande risico per ramp wordt elk ramp apart genomen. Elk ramp levert een verlies op van 142 miljoen dollars en de som van deze verliezen, $4 \cdot 142 = 568$, is vele malen groter dan de bondomvang (142 miljoen dollars).

Zoals eerder is gezegd, neemt Amerika een grote positie in de catbondmarkt (ongeveer 58%) in. Catbonds ter dekking voor aardbevingen komen het vaakst voor (een waarde van 3,8 miljard dollar ofwel 49 % van de markt).



Figuur 3.4: Overzicht van de catbondmarkt per eind 2005.

4. Vanuit het gezichtspunt van een belegger

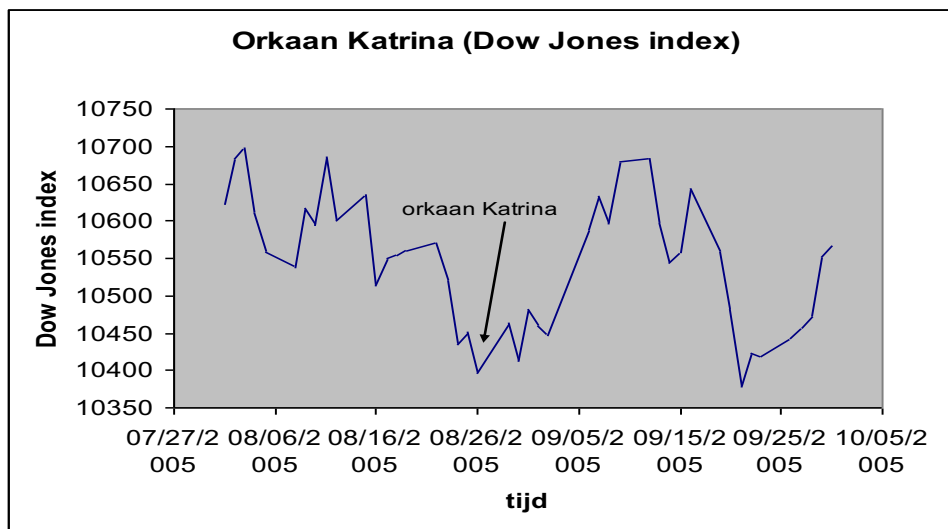
4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal getoond worden, dat catbonds voor een belegger een interessante belegging zijn om meer diversificatie in de portefeuille aan te brengen. Vervolgens worden de voorwaarden beschreven die een investeerder opstelt, voordat er geïnvesteerd wordt in catbonds. Verder wordt de impact van een extreme ramp op een markt onderzocht, waarna de risicoanalyse op een pseudo-portefeuille wordt uitgevoerd.

De risicoanalyse van catbonds richt zich op de staart van verdeling, ook wel de exceedance curve genoemd. In de risicoanalyse wordt aan de hand van een Monte-Carlo simulatie de kansen op verlies en de omvang van het verlies geschat. Dit verband wordt weergegeven in een exceedance curve.

4.2 Nieuw beleggingsproduct: Invloed van extreme rampen op de markt

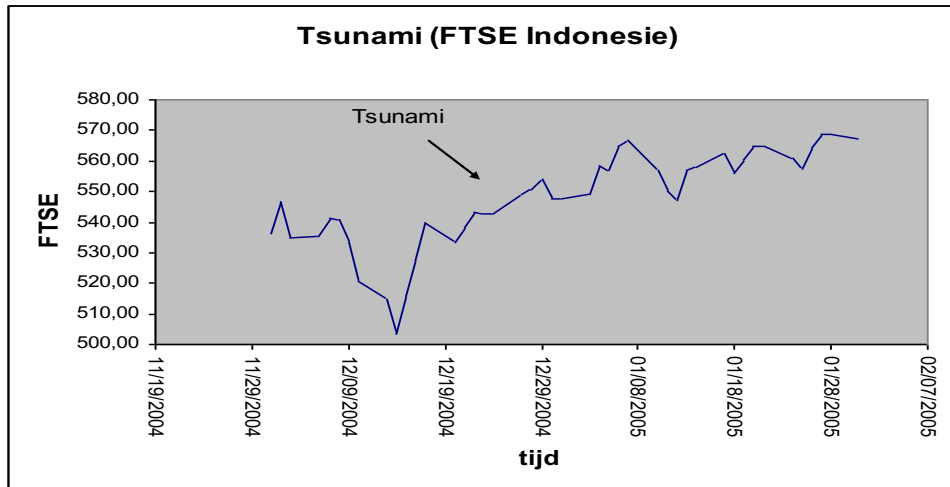
Om de invloed van uitzonderlijk grote natuurrampen op de aandelenindex te analyseren, zal er gebruik worden gemaakt van data van twee recente natuurrampen: orkaan Katrina (26 augustus 2005) in Amerika en de tsunami (26 december 2004) in Sumatra. Voor Katrina wordt de aandelenindex Dow Jones gebruikt en voor de tsunami de FTSE Indonesië en FTSE Singapore. De tsunami richtte voor verschillende landen, zoals Hong Kong, Indonesië, Singapore en Taiwan, schades aan. Dit verklaart waarom voor de tsunami meerdere aandelenindices gebruikt worden. Het is voldoende om deze twee indices te onderzoeken. Uit het verloop van een aandelenindex wordt er beslist of de ramp een negatieve invloed had op een aandelenindex. Een negatieve invloed is waar te nemen bij een daling van de aandelenindex op de dag van de ramp. In de volgende grafieken zijn de aandelenindices samen met een van de natuurrampen afgebeeld.



Figuur 4.1: Orkaan Katrina en de Dow Jones index.

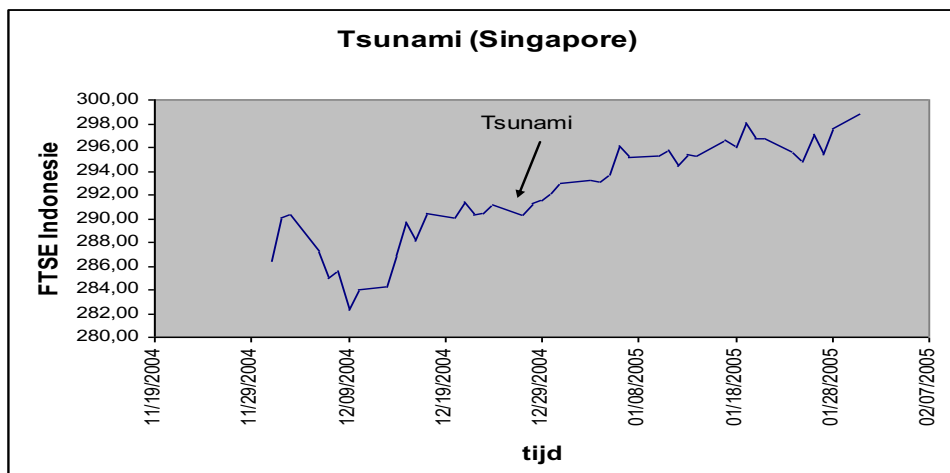
Uit figuur 4.1 blijkt, dat Katrina geen negatieve invloed had op de Dow Jones index. De index begon zelfs vanaf 26 augustus sterk te stijgen, hierdoor zijn de gevolgen van Katrina niet terug te zien.

De figuren 4.2 en 4.3 zijn een overzicht van de verschillende FTSE's na de tsunami. De tsunami had op FTSE Indonesië geen enkele invloed, de index bleef stijgen, terwijl bij de FTSE Singapore een dalende lijn te zien is



Figuur 4.2: De tsunami en de FTSE Indonesië.

Het blijkt dat de ramp in het weekend plaatsvond. De index eindigde op 24 december op 291,10 punten en opende op 27 december met 290,25. Het is een lichte daling, waarbij de daling een richtingscoëfficiënt had van $-0,3$; het verschil in punten bedroeg maar 0.85 punten.



Figuur 4.3: De tsunami en de FTSE Singapore.

Het is moeilijk te achterhalen of de daling iets te maken had met de ramp. Als dit wel het geval was dan waren de gevolgen in de FTSE niet zorgwekkend.

Al met al kan er gezegd worden, dat de zonet genoemde natuurrampen bijna geen invloed hadden op de markt. En de correlatie tussen aandelenindex en extreme ramp is dus heel klein.

4.3 De voorwaarden van investeerders om in catbonds te beleggen

Om de investering in catbonds interessant te maken moet naast een vergoeding voor het risico, een risico premie boven de risicovrije rente worden aangeboden. Het is gebruikelijk om tussen de verzekeraar en de belegger een SPV op te richten om de betalingen tussen investeerder en belegger zeker te stellen. In paragraaf 2.3.4 is SPV al uitvoerig besproken. Kort samengevat moet de SPV een zelfstandige en juridisch onafhankelijke partij zijn.

Naast de SPV moet ook een andere partij onafhankelijk zijn, namelijk de calculation agent. De calculation agent meet objectief de parameters, die ingevuld worden in sommige triggers (paragraaf 1.4), om de dekking voor een verzekeringsbedrijf te bepalen.

4.3 Getallenvoorbeeld

Stel verzekeringsmaatschappij XY wil graag een risico van 100 miljoen herverzekeren bij een herverzekeraar S Re. S Re draagt het risico over aan een SPV, na een contractopstelling. Vervolgens gaat de SPV obligaties uitschrijven ter waarde van 100 miljoen. Om het simpel te houden, wordt er aangenomen dat er maar 1 investeerder is die alle obligaties koopt. De SPV ontvangt van de investeerder de hoofdsom: €100 miljoen.

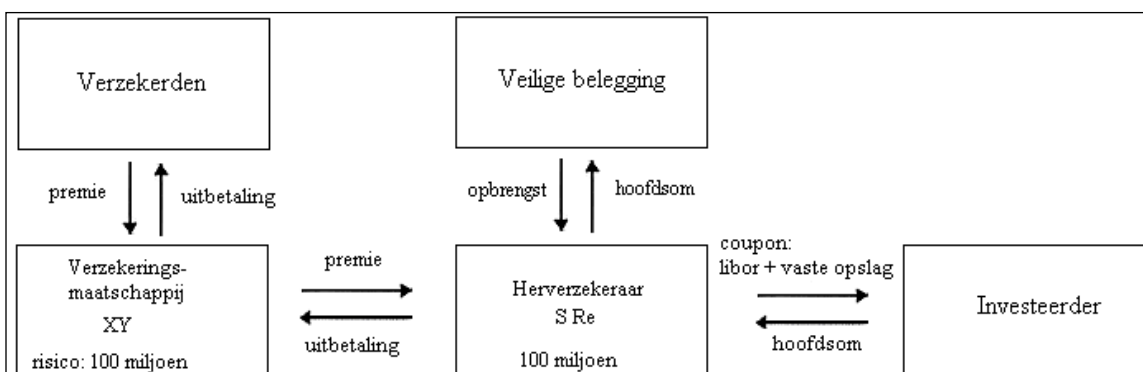
De investeerder wil maximaal 25% van het ingelegde kapitaal verliezen. De Value at Risk van deze investeerder komt op 25 miljoen dollars met een 99% betrouwbaarheidsinterval⁹.

Value at Risk

Value at Risk (VaR) is een maatstaf van het verwachte maximale verlies (V) van een instrument of portefeuille over een periode (N) bij een betrouwbaarheidsinterval (X) onder normale condities. Met de VaR kan de volgende vraag beantwoord worden: “*We zijn X procent zeker dat we niet meer dan V dollars verliezen in de komende N dagen*”.

VaR is dus afhankelijk van twee parameters: tijdshorizon en betrouwbaarheidsinterval.

In het volgende figuur is alles schematisch weergegeven

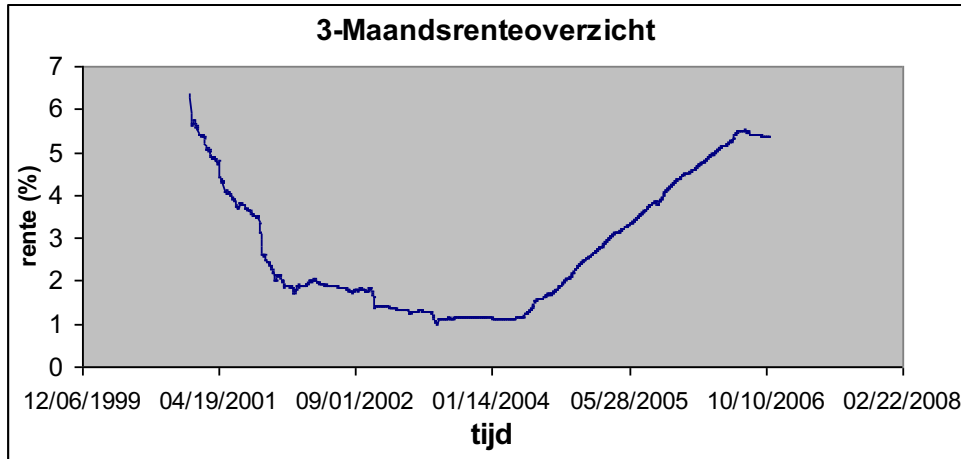


Figuur 4.4: Getallenvoorbeeld voor de catbonds.

Catbonds kunnen vergeleken worden met floating rate obligaties. Deze obligaties keren variabele coupons uit in plaats van constante coupons. Coupons zijn een rentevergoeding over het geleende bedrag van de obligatie. De rente wordt meestal gekoppeld aan de marktrente.

⁹ De rampen gebeuren 1-in-de-100-jaar en de kans op een ramp is dus 1% (1 op de 100). De kans op geen ramp is dus 99%.

In de Amerikaanse markt is het gebruikelijk om de coupons per kwartaal uit te betalen. Voor de catbonds houdt dit in, dat de rente na elk kwartaal aangepast wordt aan de huidige marktrente. Het doel van dit voorbeeld is om na te gaan hoe groot het renterisico is voor een investeerder. Hiervoor zal de 3-maandsrenteoverzicht, van 02-01-2001 tot en met 10-23-2006, gebruikt worden. Zie figuur 4.5.

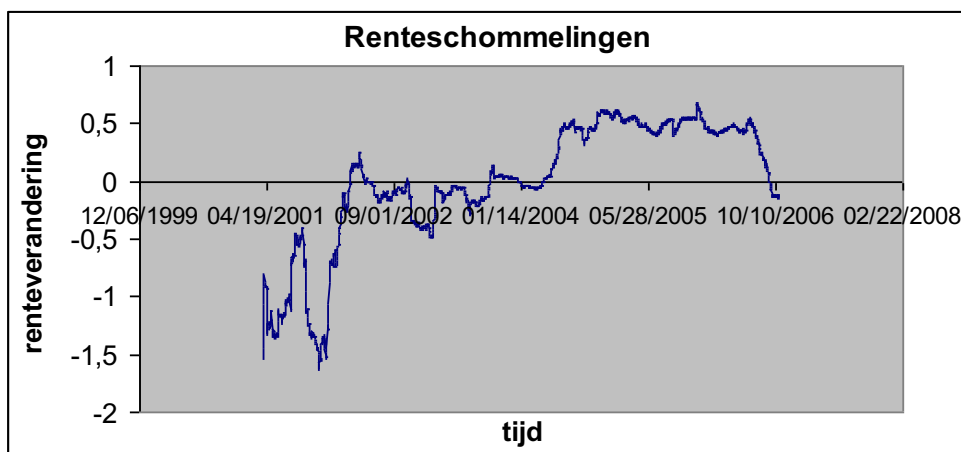


Figuur 4.5: Het 3-maandsrenteoverzicht.

Voor het bepalen van het renterisico moeten eerst de renteveranderingen berekend worden. De renteveranderingen worden bepaald door de rente op een bepaald tijdstip te vergelijken met datzelfde tijdstip maar dan 3 maanden naar voren opgeschoven. Op deze manier

$$\text{renteschommel}_i = t_{i+3 \text{ maanden}} - t_i$$

worden de 3-maandsrenteschommelingen berekend. Het resultaat is in de onderstaande figuur te zien.



Figuur 4.6: De renteschommelingen van de 3-maandsrente.

Voor het bepalen van het renterisico moet eerst de standaarddeviatie van de schommelingen berekend worden, waarna de 1% Value at Risk (VaR) bepaald wordt.

Statistiek	Waarde
gemid.	0,002969
Stdev	0,533138
Min	-1,6375
Max	0,679
Kurtosis ¹⁰	3,777
Skewness	-1,11

Tabel 4.1: Overzicht van statistische gegevens (in %) van de renteschommelingen.

Onder de aanname¹¹ dat de renteschommelingen normaal verdeeld zijn, kan de VaR berekend worden door de 1%-percentiel van een standaardnormale verdeling te nemen en die te vermenigvuldigen met de standaarddeviatie (zie tabel 4.1) van de renteschommelingen. De uiteindelijke 1% VaR is gelijk aan $2,326 * 0,533 = 1,23\%$; het gemiddelde is er niet bij betrokken, omdat deze toch nihil is. Het renterisico is beperkt vanwege de korte looptijd van de rentevaste periode. De rente wordt na elke kwartaal aangepast aan de markrente.

De VaR van het catastroferisico is vastgesteld op 25% en dit is vele malen hoger dan het renterisico. Het renterisico valt tegen de VaR weg en kan in de risicoanalyse achterwege gelaten worden. Maar de investeerder moet er wel rekening mee houden dat hij renterisico loopt.

4.4 Risico analyse van een catbonds portefeuille

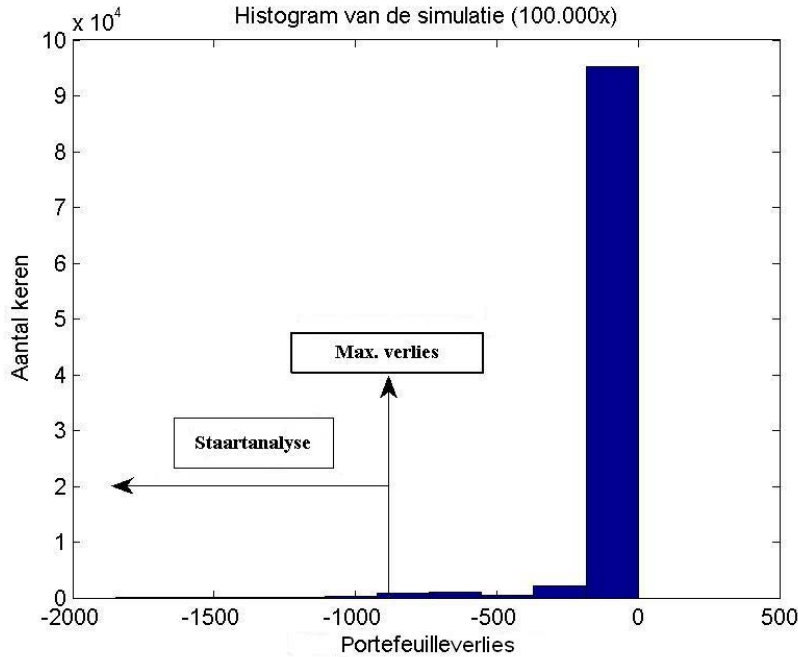
Als laatste volgt de risicoanalyse van een portefeuille. In de risicoanalyse wordt nagegaan of het risico van een portefeuille aanvaardbaar is. De investeerder moet hiervoor eerst de risicotolerantie voor zichzelf in kaart brengen. Dit betekent dat de investeerder de omvang van het risico moet bepalen, dat hij wil lopen. Ofwel het maximale verlies dat een investeerder wil riskeren. Dit verlies is meestal een percentage van de portefeuillevaarde. Verder moet de investeerder tevreden zijn over de grootte van de te ontvangen premie ten opzichte van het catastrofe risico.

4.4.1 Exceedance curve

Bij een overschrijding van een *maximaal* verlies (ook wel de VaR bij een 99% betrouwbaarheidsinterval), wat een investeerder accepteert, moet de staart van de verdeling geanalyseerd worden. Deze analyse is nodig om o.a. het maximale verlies voor de investeerder te bepalen (=exceedance curve). Bij catbonds is de VaR een percentage van de portefeuillevaarde. De hoogte van het percentage hangt af hoe risicogevoelig de investeerder ingesteld is. In figuur 4.7 is alles grafisch weergegeven.

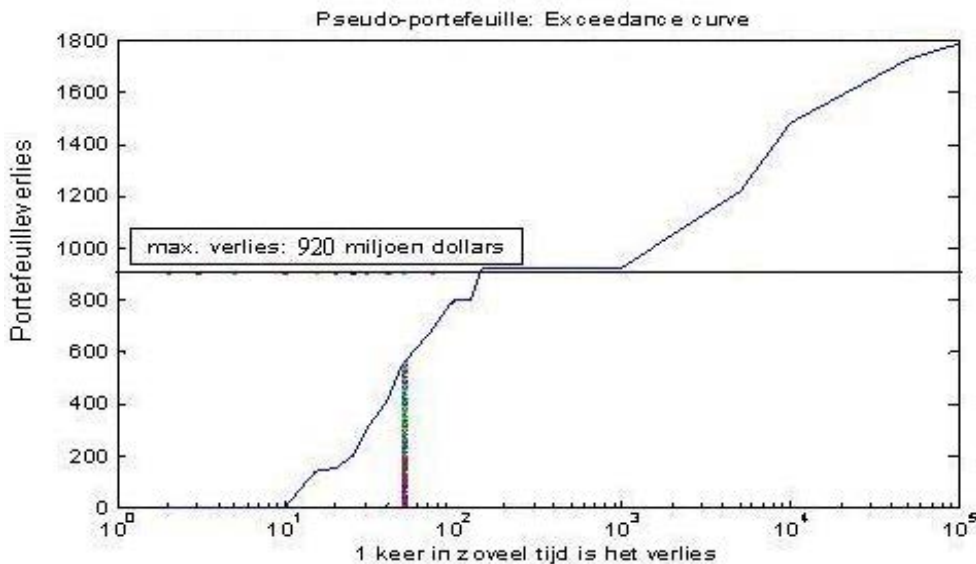
¹⁰ Zie Appendix 2 voor de beschrijvingen van kurtosis en skewness.

¹¹ De renteschommelingen zijn niet normaal verdeeld. Voor een normale verdeling is de kurtosis 3 en de skewness 0. Deze waarden verschillen veel van de berekende kurtosis en skewness van de renteschommelingen. Zie tabel 6.



Figuur 4.7: Grafische samenvatting van de risicoanalyse.

Het histogram is verkregen door 100.000 keer een Monte-Carlo simulatie uit te voeren, waarin een bestaande portefeuille als input is meegenomen. Zowel de simulatie als de portefeuille zullen in de volgende paragraaf beschreven worden. In de simulatie is het percentage vastgesteld op 40 % van de portefeuillewaarde, dat een waarde heeft van 2,3 miljard dollar. Verder is het maximale verlies van de portefeuille vastgesteld op 920 miljoen dollar. Dus de 1% VaR van de portefeuille bedraagt 920 miljoen dollars. Om een voorbeeld te geven hoe een exceedance curve eruit ziet, zal hiervoor de curve van de portefeuille worden afgebeeld. Zie hiervoor figuur 4.8.



Figuur 4.8: Exceedance curve van een portefeuille.

In dit figuur kunnen de kansen op verlies en de omvang van het verlies afgelezen worden. Eén-keer-in-50-jaar zal bijvoorbeeld het verlies van de portefeuille 550 miljoen dollars bedragen. Het verlies bevindt zich onder de vastgestelde limiet: de investeerder van deze portefeuille kan opgelucht ademen.

4.5 Risicoanalyse van een catbonds portefeuille

Voor het analyseren van een portefeuille zal er een pseudo-portefeuille worden aangemaakt. Aan de hand van deze portefeuille zal het verlies van een investeerder bepaald worden. De portefeuille omvat geen gewone rampen, maar extreme rampen ook wel super catastrofes (supercats) genoemd. Dit zijn rampen met enorme gevolgen met een kleine kans op herhaling. De rampen zijn al gesommeerd in paragraaf 2.2. Voor de risicoanalyse voor deze portefeuille zal er dus gekeken worden naar het verlies eens-in-de-100-jaar, omdat deze rampen gemiddeld 1 keer in de 100 jaar voorkomen.

Catbonds in de pseudo-portefeuille zijn uit de catbondmarkt geselecteerd. Voor het analyseren van deze portefeuille is het schrijven van een Monte-Carlo simulatiemodel een goed hulpmiddel. Voordat er overgegaan wordt naar het simulatiemodel, zal eerst de portefeuille besproken worden. De portefeuille bestaat uit 15 catbonds en 16 catastrofe gebeurtenissen (perils). In figuur 4.9 staat de portefeuille afgebeeld.

bonds	omvang (\$Mln)	USW	CAQ	NMO	PWQ	JPQ	JPW	EUW	MOA	AUQ	AUW
bond 1	154							0,0054			
bond 2	200	0,0069									
bond 3	296				0,0072						
bond 4	123	0,0051	0,0010					0,0016			
bond 5	150								0,0096		
bond 6	138							0,0105			
bond 7	148		0,0105								
bond 8	91	0,0056						0,0053			
bond 9	200						0,0124				
bond 10	99	0,0130									
bond 11	142	0,0100	0,0028	0,0015	0,0001						
bond 12	150							0,0156			
bond 13	100									0,0110	0,0100
bond 14	97	0,0082	0,0044			0,0034		0,0102			
bond 15	170	0,0111	0,0054					0,0105			

Figuur 4.9: Overzicht van de pseudo-portefeuille.

De gehele portefeuille zal in z'n geheel in Appendix 1 worden opgenomen. Om verwarringen te voorkomen zal de portefeuille kort besproken worden. In de eerste kolom zijn de bonds weergegeven met daarnaast de bondomvang van elke bond (in mln US dollars).

Voorbeeld: Voor bond 1 zijn er ter waarde van 154 miljoen dollar obligaties uitgeschreven.

In de eerste rij, na het kopje "omvang", staan de mogelijke catastrofe gebeurtenissen (perils) die voor kunnen komen in de markt. In het totaal zijn er 17 perils meegenomen in de analyse en zijn samen met de betekenis in tabel 4.2 weergegeven.

Gebeurtenis	Betekenis
USW	US East Coast Hurricane
HIW	Hawaii Hurricane
CAQ	California Earthquake
NMQ	New Madrid Earthquake
PWQ	Pacific NW US Earthquake
SCQ	South Carolina Earthquake
JPQ	Japan Earthquake
JPW	Japan Wind
EUW	European Windstorm
MQA	Mexico Earthquake Zone B
MQB	Mexico Earthquake Zones A & C
MRT	Extreme Mortality
AUQ	Australian Earthquake
AUW	Australian Typhoon
IN1	Industrial Cat1
KOW	Korea wind

Tabel 4.2: Overzicht van alle gedekte rampen.

De marktwaarde van de portefeuille is gelijk aan de som van de bondomvangen, in dit geval 2,3 miljard dollars.

Als laatste zijn de decimale getallen, die ingevuld zijn in de tabel. Dit getal geeft de kans (perilkans) aan, dat er een catastrofe gebeurtenis zal plaatsvinden in een land/stad.

Voorbeeld: Voor obligatie 4 geldt een kans van kleiner of gelijk aan 0.0010, dat er in Californië een aardbeving zal plaatsvinden.

De kansen in de tabel worden ook wel triggers genoemd en zijn te vinden in een catastrofe bondprospectus¹².

In figuur 4.9 zijn er twee soorten bonds te onderscheiden. Bonds die maar 1 peril omvatten worden ‘single peril’ bonds (zie bond 1) genoemd en bonds met meerdere perils worden ‘multi peril’ bonds (zie bond 4) genoemd.

De Monte-Carlo simulatie, dat hierna beschreven zal worden, schat de verlieskansen in van de portefeuille. De simulatie zal in twee stappen beschreven worden.

Stap 1

Voor elk peril wordt een random getal getrokken. Dit wordt gedaan, omdat elk peril onafhankelijk is van de andere perils en dit houdt in dat de onderlinge correlatie nul is (deze aanname wordt vanwege gebrek aan historie). Dat laatste geldt ook voor de bonds. Het random getal wordt vergeleken met de trigger(s) van een bond. Als het random getal kleiner of gelijk is aan de trigger wordt dat bond geraakt, anders gebeurt er niets. Op dezelfde manier worden alle overige bonds doorlopen.

De schade die een geraakte bond veroorzaakt, is gelijk aan de bondomvang. Er wordt van het ergste geval uitgegaan.

Bij een multi-peril bond, die bijvoorbeeld 3 perils omvat, kan de schade ook een andere manier bepaald worden. Aan elk peril kan een verliespercentage gekoppeld worden: bij de eerste peril

¹² Een catbondprospectus is een statistisch overzicht van triggers/perilkansen en andere gegevens voor het uitvoeren van een risicoanalyse. In figuur 11 is een deel van het prospectus te zien. Dit is het belangrijkste gedeelte voor een risicoanalyse.

verliest de investeerder 60% van de bondomvang, bij de tweede peril 40% en voor de laatste peril 20%. In de simulatie wordt er geen onderscheid gemaakt tussen de perils. Het verlies is gelijk aan de bondomvang. De uiteindelijke schade van de portefeuille is gelijk aan de som van de individuele bondschades en de hele procedure wordt een aantal keren gesimuleerd, bijvoorbeeld 100.000 iteraties. Na elke simulatie worden er telkens nieuwe random getallen getrokken voor de perils.

In tabel 4.3 zijn de uitkomsten van stap 1 weergegeven. In de 15 jaar van de 100.000 jaren verliest de investeerder 142,07 miljoen dollar. Ter herinnering: voor het bepalen van het verlies van de investeerder moet er gekeken worden naar het verlies 1-keer-in-de-100-jaar. In de tabel kan dit afgelezen worden bij t=100. Het verlies voor de investeerder bedraagt 801,13 miljoen en het voldoet aan de eis.

t-de iteratiestap	verlies
15	142,07
20	150,03
25	200,00
30	296,31
40	411,70
50	556,18
75	680,88
100	801,13
⋮	⋮
10000	1479,69
50000	1724,64
100000	1785,98

99% risicotolerantie

←

Tabel 4.3: De 100.000 iteraties en de schaden van de pseudo-portefeuille.

Stap 2

Het volgende is een grafiek van tabel 4.3 te plotten. Deze grafiek wordt ook wel de exceedance curve genoemd, zie figuur 4. 10. De exceedance curve die er dan uitrolt, is voor de gehele portefeuille. Deze analyse kan ook uitgevoerd worden voor elk peril wanneer het verlies, de limiet overschrijdt. Er kan dan onderzocht worden welke peril(s) verantwoordelijk is(zijn) voor de overschrijding.

Korte samenvatting risicoanalyse

De opgestelde portefeuille heeft een waarde van 2,3 miljard dollars, waarbij de 1% VaR gelijk is aan 40% van de portefeuillewaarde: 920 miljoen dollars. Uit de risicoanalyse bedraagt het verlies eens-in-de-100-jaar, 801 miljoen dollars. Het verlies bevindt zich onder het maximale verlies en dit is een goed teken voor de investeerder. Om de prestatie van de portefeuille in te schatten zal deze vergeleken worden met de markt. Deze analyse gebeurt in het volgende hoofdstuk.

5. Portefeuille analyse

5.1 Inleiding

Na de risicoanalyse in het vorige hoofdstuk, zal de portefeuille verder geanalyseerd worden. De portefeuille wordt vergeleken met de totale marktportefeuille¹³. Hiertoe wordt voor elk portefeuille een regressieanalyse tussen rendement en risico uitgevoerd, waarbij gelet wordt op heteroscedasticiteit. Variabelen vertonen heteroscedasticiteit als de variantie van de storingen niet constant is. Het achterhalen van heteroscedasticiteit gebeurt aan de hand van een QQ-plot en twee verdelingstoetsen. Bij het werkelijk optreden van heteroscedasticiteit kan deze verwijderd worden door te zoeken naar uitbijters of door transformatie van de variabelen. Na het verwijderen van uitbijters zal de heteroscedasticiteit hopelijk verdwenen zijn. Ten slotte wordt de gevoeligheid van de portefeuille voor specifieke bonds bepaald, waarbij de marginaal VaR, incrementeel VaR, het toevoegen van bonds en de gevoeligheid voor de triggers onderzocht worden.

5.2 Pseudo-portefeuille vergelijken met de markt

Om de prestatie van de pseudo-portefeuille te beoordelen, kan deze vergeleken worden met de marktportefeuille. Voor de vergelijking zal gebruik maken van de Sharpe ratio's (SR) van beide portefeuilles. Sharpe ratio is een ratio dat weergeeft hoeveel rendement er per eenheid risico is behaald. Hoe hoger de ratio hoe beter de portefeuille.

De Sharpe ratio λ is als volgt gedefinieerd:

$$\lambda = \frac{\text{rendement}}{\sigma}$$

Voor het rendement wordt de premie, die de SPV aan de investeerder vergoedt, genomen. Op deze premie wordt het gemiddelde verwachte verlies, dat de investeerder over lange termijn verliest, in mindering gebracht.

$$\lambda = \frac{\text{premie} - \text{verwachte verlies}}{\sigma}$$

met

$$\sigma = \sqrt{\text{verwachte verlies} \cdot (1 - \text{verwachte verlies})}$$

Premie (in %) is het rendement dat een investeerder ontvangt boven libor. Verwacht verlies (in %) is een andere benaming voor triggers/perilkans. En σ is het risico (in %) van een bond.

¹³ Marktportefeuille is de portefeuille met daarin alle uitstaande catbonds in de markt. In totaal zijn er 80 bonds in omloop.

Het risico is opgebouwd uit 2 toestanden namelijk de kans dat een bond geraakt wordt (verwachte verlies) en uit de kans dat een bond niet wordt geraakt (1- verwachte verlies). Het risico is de vierkantswortel van het product van beide kansen.

Het Kreps model, dat in hoofdstuk 6 besproken zal worden, kan verkregen worden door het herschrijven van de Sharpe ratio:

$$premie = \text{verwachte verlies} + \lambda \sigma$$

Het symbool λ staat voor de Sharpe ratio. Het model moet als volgt geïnterpreteerd worden: de investeerder neemt geen genoegen als de premie gelijk is aan het verwachte verlies. Om het aantrekkelijk te maken voor een investeerder wordt een opslag voor het genomen risico, $\lambda \sigma$, boven het verwachte verlies erbij opgeteld.

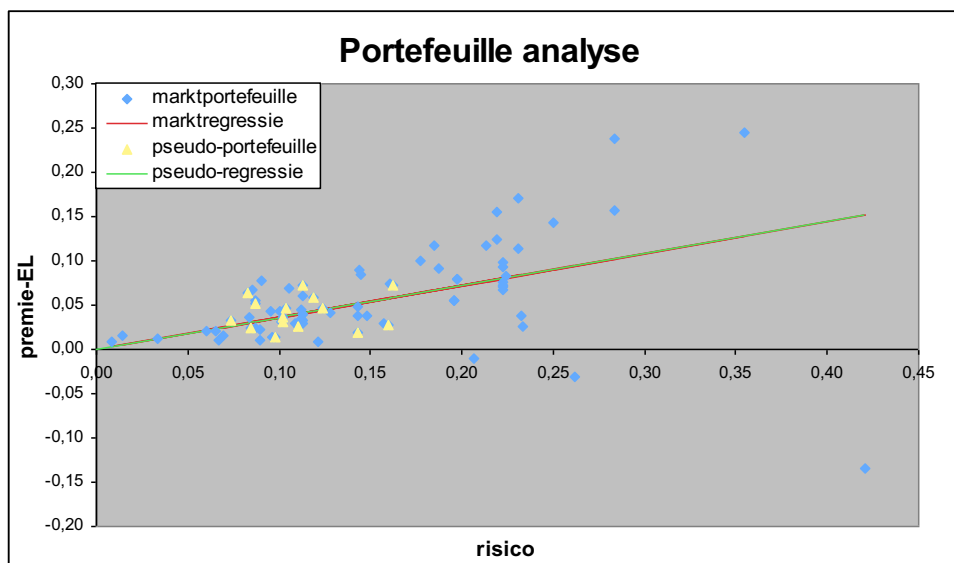
De waarde van de Sharpe ratio λ kan vervolgens geschat worden via lineaire regressie.

5.2.1 Resultaten

In figuur 5.1 zijn de pseudo- en marktportefeuille afgebeeld met daarbij horende regressielijnen. In de grafiek zijn “premie minus verwacht verlies” (= verwacht rendement) en “risico” tegen elkaar geplott. De Sharpe ratio’s van beide portefeuilles (de richtingscoëfficiënten van de regressielijnen¹⁴) verschillen nauwelijks van elkaar.

$$SR_{pseudo} = 0.359842$$

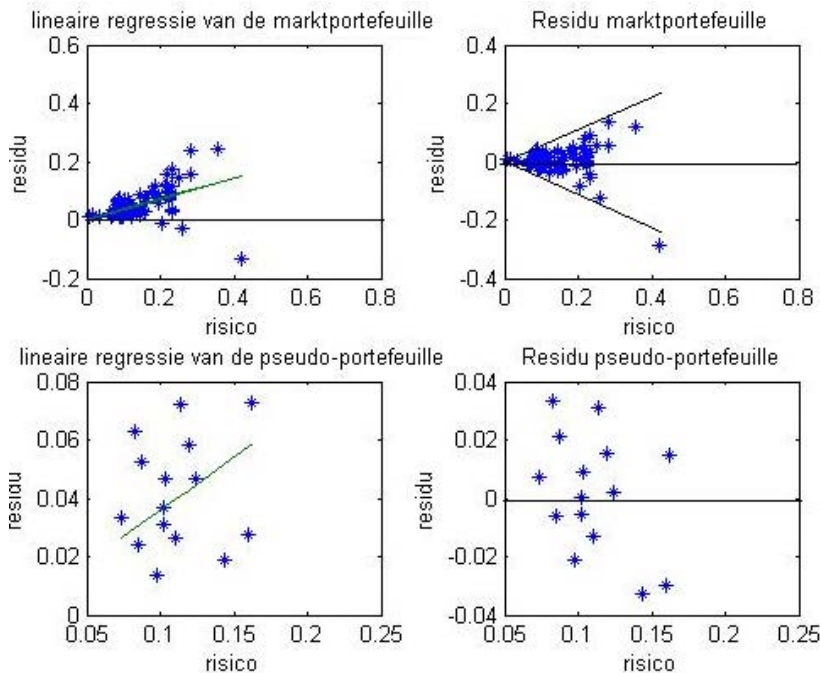
$$SR_{markt} = 0.359972$$



Figuur 5.1: Overzicht van de pseudo- en marktportefeuille samen met de bijbehorende regressielijnen.

¹⁴ De regressielijnen gaan door de oorsprong, omdat er een regressieanalyse is uitgevoerd op het volgende: $premie - EL = \lambda \sigma$.

In hetzelfde figuur is te zien, dat de grootte van de spreiding tussen de markt en marktregressielijn (residuen) met het risico toeneemt. Voor een lineaire regressieanalyse moeten de residuen onafhankelijk en normaal verdeeld zijn, met een gemiddelde van nul en een constante variantie. Maar voor de marktportefeuille is de variatie van de residuen niet constant. Hierdoor treedt er heteroscedasticiteit op bij deze portefeuille. Heteroscedasticiteit zorgt ervoor dat de uitkomsten met de grootste afwijkingen het resultaat onevenredig sterk gaat beïnvloeden en dit is niet de bedoeling voor de analyse. De heteroscedasticiteit kan aangetoond worden met de volgende afbeeldingen.



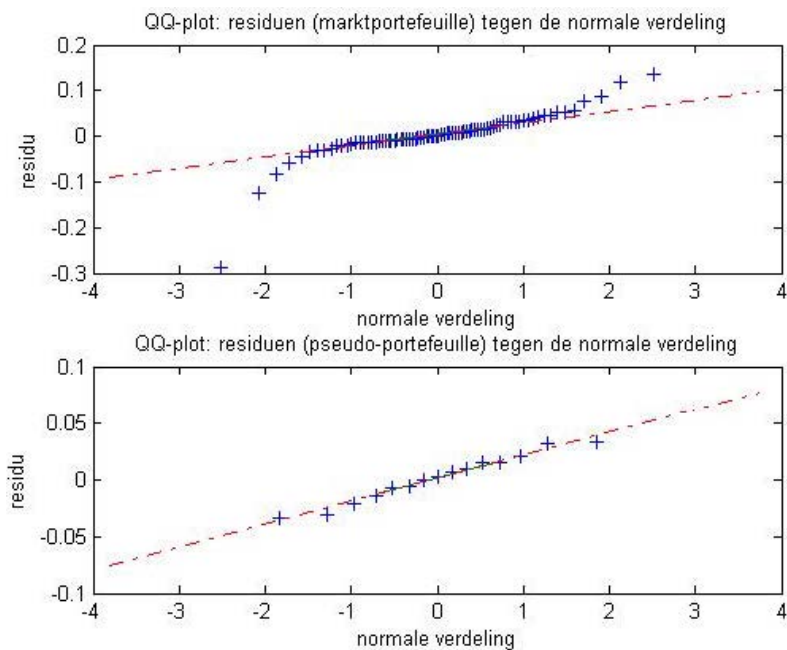
Figuur 5.2: Afbeeldingen van regressielijnen van beide portefeuilles samen met de residuen.

Figuur 5.2 is een aanpassing van figuur 5.1, hierin zijn de pseudo- en marktportefeuille samen met hun regressielijn apart afgebeeld. Daarnaast zijn ook nog de residuen van beiden portefeuilles afgebeeld. Uit de residuen blijkt duidelijk dat er alleen bij de marktportefeuille heteroscedasticiteit optreedt.

De correctheid van deze bewering kan aangetoond worden aan de hand van een QQ-plot¹⁵ en voor de nauwkeurigheid worden daarnaast nog 2 verschillende verdelingstoetsen uitgevoerd: de Lilliefors- en Jarque-Bera toets (zie appendix 2 & 3). Bij beide verdelingstoetsen wordt er getoetst, hoe goed de residuen de normale verdeling fit.

¹⁵ QQ-plot is een visuele toets voor het toetsen op een verdeling (in dit geval de normale verdeling). De kwantilen van de standaard normale verdeling worden gekoppeld aan de residuen.

In figuur 5.3 zijn de QQ-plots van beide portefeuilles afgebeeld.



Figuur 5.3: QQ-plots van de residuen van beide portefeuilles.

Er kan duidelijk gezien worden dat de residuen van de marktportefeuille niet normaal verdeeld zijn. De waarden aan het begin van de rechte lijn liggen lager. De verdeling achter deze residuen kent een grotere kansmassa toe dan de normale verdeling. Hetzelfde geldt voor het einde van de lijn. De waarden liggen boven de rechte lijn en dit wijst ook op een verdeling die meer kansmassa toekent aan grote waarden dan de normale verdeling. De residuen wijzen dus op een verdeling met een dikke¹⁶ staart aan beide weerszijden. Denk hier aan een t-verdeling. Voor een definitieve conclusie worden de zonet genoemde verdelingstoetsen uitgevoerd, maar eerst worden de nul- en alternatieve hypothese opgesteld. Onder de nulhypothese wordt er aangenomen dat de residuen uit een normale verdeling afkomstig zijn. En onder de alternatieve hypothese zijn de residuen uit een ander verdeling afkomstig. Verder moet beslist worden, welke soort toetsing, een/tweezijdige, hier van toepassing is.

$$H_0 : \text{marktresiduen zijn normaal verdeeld}$$

$$H_1 : \text{marktresiduen zijn niet normaal verdeeld}$$

Een/tweezijdige toets hangt af hoe de alternatieve hypothese geformuleerd is. Als de formulering is, dat

$$H_1 : \text{gemiddelde is niet gelijk aan } \mu$$

dan wordt tweezijdig getoetst. Als de formulering het volgende is, dat

¹⁶ Het kan ook zo zijn dat de residuen aan het begin boven de rechte lijn uitsteken en aan het eind onder de rechte lijn uitsteken. Dit duidt op dunne staarten (uniforme verdelingen).

$$H_1 : \text{gemiddelde} < \text{dan } 5$$

of

$$H_1 : \text{gemiddelde} > \text{dan } 5$$

dan wordt er een eenzijdige toets uitgevoerd. De alternatieve hypothese hangt af van de onderzoeksvraag.

Bij deze onderzoeksvraag hoort een tweezijdige toets. Om het totale significantieniveau gelijk aan α te houden wordt de nulhypothese bij tweezijdige toetsen dus verworpen als de rechter- of linker overschrijdingskans kleiner is dan $0,5\alpha$. Het significantieniveau wordt dus gehalveerd bij een tweezijdige toets.

Er zal op twee verschillende manieren bepaald worden of een nulhypothese wel/niet verworpen wordt. Bij de Jarque-Bera toets wordt alleen de overschrijdingskans gebruikt en bij de Lilliefors-toets worden de waarde van de toetsingsgrootheid (toetsingswaarde) en de kritieke waarde gebruikt.

Overschrijdingskans

De overschrijdingskans (p-value) is de kans, dat de residuen willekeurige trekkingen zijn uit een normale verdeling. Als de residuen teveel afwijken van de rechte lijn (in de QQ-plot) zal de kans kleiner zijn, dat de residuen uit een normale verdeling afkomstig zijn. Hierdoor zal de aanname van normaliteit verworpen worden (nulhypothese).

Het verwerpen van de nulhypothese gebeurt bij een p-value $< 0,5\alpha$, met α het significantieniveau. De keuze van het significantieniveau, $0,5\alpha$, wordt bepaald door het risico, dat de onderzoeker wil lopen om de nulhypothese ten onrechte te verwerpen. In dit onderzoek wordt α vastgesteld op 5%, met een betrouwbaarheidsinterval van 95%.

Samengevat:

- Bij een p-value < 0.025 wordt de nulhypothese verworpen
- Bij een p-value ≥ 0.025 wordt de nulhypothese niet verworpen en mag aangenomen worden dat de residuen normaal verdeeld zijn.

Kritieke waarde en Toetsingsgrootheid

Toetsen met de kritieke waarde is een alternatief voor 'toetsen met de overschrijdingskans'. Beide manieren zorgen voor precies hetzelfde resultaat. De kritieke waarde is de grenswaarde van een verdeling bij een gegeven betrouwbaarheidsinterval en is afhankelijk van het significantieniveau.

- Vooraf wordt de kritieke waarde ($t_{\frac{1}{2}\alpha}$) uitgerekend of opgezocht in een tabel.

- Bij het toetsen met de kritiek waarde bepaalt het significantieniveau het kritieke gebied. Het kritieke gebied bestaat uit alle waarden van de toetsingsgrootheid die groter zijn dan de kritieke waarde. De nulhypothese wordt dus verworpen als de toetsingswaarde t groter is dan de kritieke waarde.

$$t > t_{\frac{1}{2}\alpha}$$

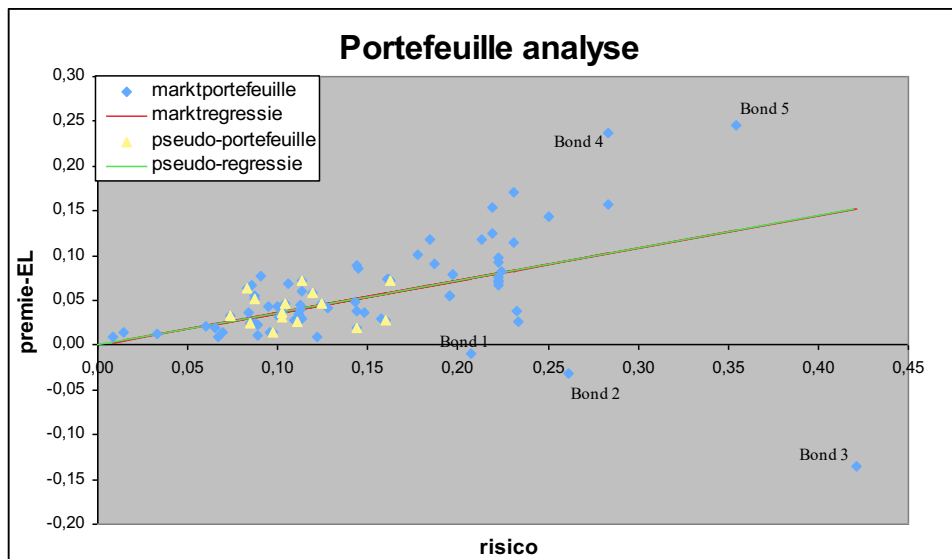
Resultaten verdelingstoetsen:

Bij een significantieniveau van 5% wordt de nulhypothese bij beide toetsen verworpen. De overschrijdingskans bij de Jarque-Bera toets is gelijk aan 0 en is kleiner dan het gehalveerde significantieniveau. Hetzelfde geldt voor de Lilliefors toets: de kritieke waarde is gelijk aan 0.0991 en de toetsingswaarde is 0.1995 ($t > t_{\frac{1}{2}\alpha}$).

Hieruit kan geconcludeerd worden dat de residuen niet normaal verdeeld zijn. Er treedt inderdaad heteroscedasticiteit op in de marktportefeuille.

Marktportefeuille onder de loep

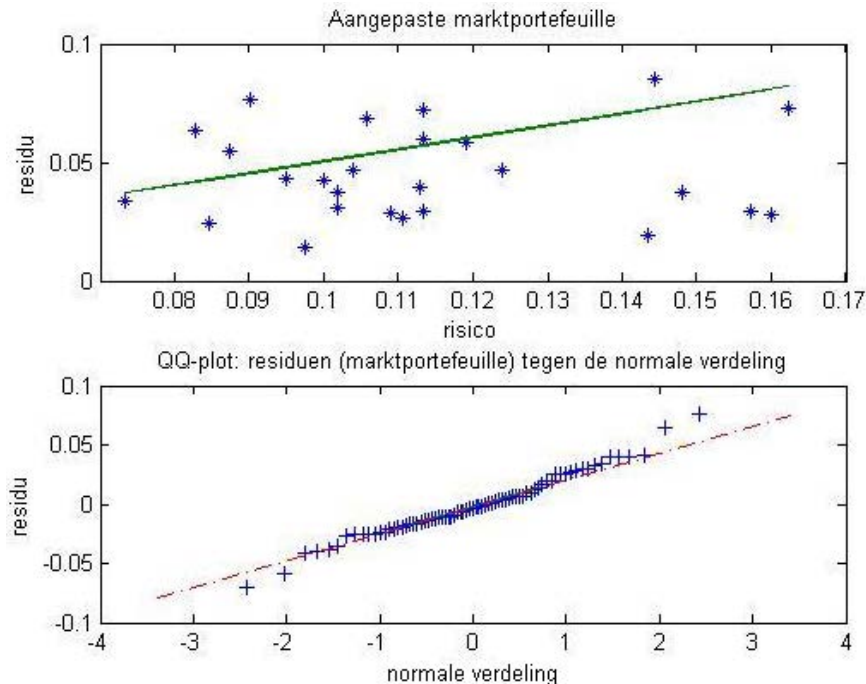
Er zal geprobeerd worden om de heteroscedasticiteit uit de marktportefeuille te elimineren. In de eliminatieprocedure spelen de uitbijters¹⁷ een belangrijke rol spelen. Ieder bijter zal verder onderzocht worden. In figuur 5.4 zijn 3 bonds te zien die negatieve rendementen aanbieden. Deze bonds zijn uitgegeven ter dekking voor industriële rampen. Het blijkt dat deze drie bonds drie van de vier keer zijn geraakt. Dit houdt in als één van deze bonds nog één keer geraakt zou worden, treedt er een verlies op ter waarde van de bondomvang. Dit verklaart waarom deze bonds negatief zijn, niemand wil nog in deze riskante bonds investeren. Naast deze bonds zijn er nog twee bonds die ver uitsteken ten opzichte van de rest. Ze bieden een te hoog rendement in vergelijking met het onderliggende risico. In dit geval blijkt dat deze aantrekkelijke bonds niet meer verhandelbaar zijn. Ze zijn dus illiquide.



Figuur 5.4: Overzicht van de uitbijters in de marktportefeuille.

Voor de verdere analyse kunnen deze vijf bonds achterwege gelaten worden. Met de aangepaste marktportefeuille zal de hele procedure herhaald worden. In de onderstaand figuur zijn de residuen en een QQ-plot van de marktportefeuille afgebeeld.

¹⁷ Uitbijters zijn punten die te ver uitwijken van de regressielijn.



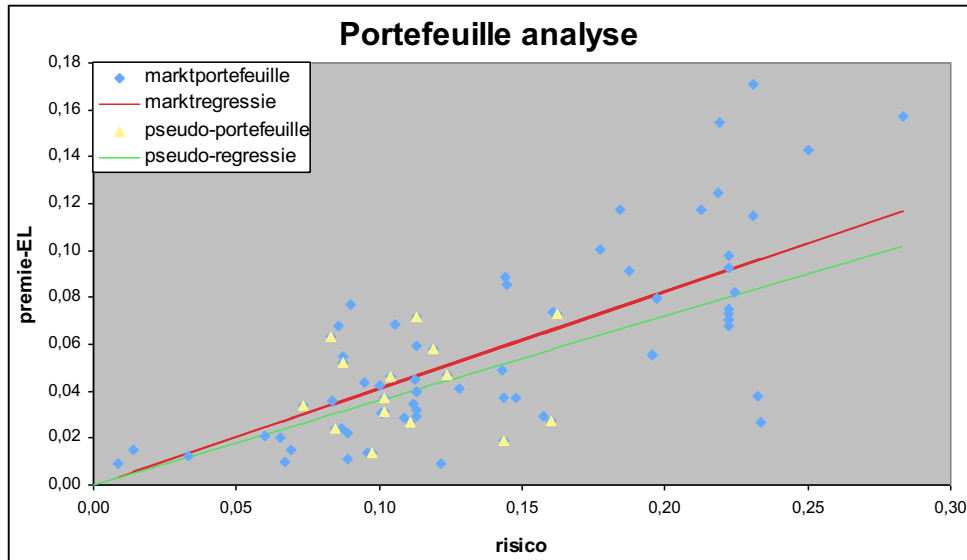
Figuur 5.5: Afbeeldingen van de aangepaste marktportefeuille.

Uit het bovenste plaatje lijkt de heteroscedasticiteit te zijn verwijderd, terwijl in het QQ-plot (lichte) dikke staarten te zien zijn. Ook dit gaan we weer toetsen met de 2 verdelingstoetsen, waarbij de hypothesen onveranderd blijven.

Na het uitvoeren van bij beide toetsen, wordt de nulhypothese niet verworpen bij een 5% significantieniveau. De Lilliefors toets geeft een kritieke waarde aan van 0.0103 en een toetsingswaarde van 0.0833. De toetsingswaarde is kleiner dan de kritieke waarde. Voor de Jarque-Bera toets is de overschrijdingskans 0.2571 en is groter dan het gehalveerde significantieniveau.

Er kan geconcludeerd worden dat het gezochte resultaat is behaald: de heteroscedasticiteit is geëlimineerd.

Via lineaire regressie wordt de volgende grafiek verkregen. De Sharpe ratio van de marktportefeuille is gelijk aan 0,412305 en van de pseudo-portefeuille is die 0,359842.



Figuur 5.6: Het resultaat na het verwijderen van de uitbijters uit de marktportefeuille.

Hieruit kan niet vastgesteld worden, dat de markt het beter doet dan de pseudo-portefeuille. Immers, de marktportefeuille is aangepast en mag niet vergeleken worden met de portefeuille. Het enige wat er onderzocht kan worden of het verschil in Sharpe ratio's significant is. Dit kan gedaan worden via 'toetsen met het betrouwbaarheidsinterval'.

Toetsen met het betrouwbaarheidsinterval

Het betrouwbaarheidsinterval geeft het gebied aan, waarbinnen de werkelijke waarde van een parameter, in dit geval de Sharpe ratio, ligt.

$$(100\%-\alpha) \text{ betrouwbaarheidsinterval} = [SR - 2 * \sigma_{SR} \quad SR + 2 * \sigma_{SR}]$$

SR = Sharpe ratio

σ_{SR} = standaardafwijking van de schatting

Het gebied is afhankelijk van het significantieniveau (α). Hoe lager het niveau hoe onnauwkeurig het resultaat zal zijn. Het gebied wordt groter naarmate het niveau lager wordt, waardoor een waarde dat werkelijk verschilt van de parameter meegenomen wordt in het gebied. Bij een significantieniveau van 5% zal in $(100\%-5\%)$ 95% van de gevallen de werkelijke waarde van de parameter in het interval zitten en in de overige 5% van de gevallen niet.

H_0 : waarde zit in het betrouwbaarheidsinterval

H_1 : anders

De nulhypothese wordt dus verworpen als de waarde buiten het betrouwbaarheidsinterval ligt en wordt geaccepteerd, als deze in het interval ligt.

Eerst worden er twee afkortingen gedefinieerd:

- Sharpe ratio van de marktportefeuille: SR_{markt}
- Sharpe ratio van de pseudo-portefeuille: SR_{pseudo}

Het is dus de bedoeling om te kijken of SR_{markt} binnen het betrouwbaarheidsinterval van SR_{pseudo} ligt. Een andere mogelijkheid is het onderzoeken of beide ratio's aan elkaar gelijk zijn en dit levert een tweezijdige toets op. Beide leveren dezelfde resultaten op. De 95%-betrouwbaarheidsinterval van SR_{pseudo} ziet er als volgt uit:

$$\text{Betrouwbaarheidsinterval} = [0,261345; 0,458338]$$

Het volgende is het definiëren van de nul- en de alternatieve hypothese. Het significantieniveau, 5%, blijft hetzelfde als bij de twee verdelingstoetsen.

De hypothesen zijn:

$$\begin{aligned} H_0 : SR_{markt} & \text{ zit in het betrouwbaarheidsinterval van } SR_{pseudo} \\ H_1 : SR_{markt} & \text{ zit buiten het betrouwbaarheidsinterval van } SR_{pseudo} \end{aligned}$$

SR_{markt} is in dit geval gelijk aan 0.412305. Deze waarde ligt binnen het betrouwbaarheidsinterval, waardoor de nulhypothese niet verworpen zal worden bij een 5% significantieniveau.

Het verschil in beide ratio's is te verwaarlozen. De pseudo-portefeuille is dus gelijk aan de marktportefeuille.

5.3 Gevoeligheidsanalyse van de portefeuille

De gevoeligheidsanalyse bestaat uit vier onderdelen, waarbij de bonds en triggers ieder een rol spelen. Bij elk onderdeel zal de verandering van het risico geanalyseerd worden. Bij de bonds worden het volgende onderzocht:

- Wat is het effect op het risico van de portefeuille als een bond verwijderd wordt? (§ 5.3.2).
- Wat gebeurt er met het risico als de hoofdsom van een specifieke catbond met 1 miljoen dollars toeneemt/afneemt? (§ 5.3.3).
- Wat is het effect op het risico van de portefeuille als een bond toegevoegd wordt? (§ 5.3.3).

Vervolgens zullen de gevolgen onderzocht worden als de triggers veranderen. Dit kan bereikt worden door bij een specifieke peril de trigger(s) met een basispunt¹⁸ te variëren.

¹⁸ Basispunt is een honderdste van een procent (0.01%).

Voor het berekenen van de verandering wordt er gekeken wat het verlies is in eens-in-de-100-jaar.

5.3.1 Value at Risk en Marginaal Value at Risk (MVaR)

Wat kan een investeerder bereiken met deze methode? Deze methode heeft als doel om te achterhalen welke bond een grote bijdrage levert aan het totale risico. De investeerder kan de portefeuille zodanig samenstellen, dat het risico van de portefeuille zo minimaal mogelijk is. MVaR wil zeggen dat het risico wordt berekend, nadat er een bond verwijderd wordt. Het risico wordt dus telkens over $N-1$ bonds bepaald, met N het aantal bonds in de portefeuille. In dit geval zijn er 15 bonds in de pseudo-portefeuille en het risico wordt telkens over 14 bonds berekend. De portefeuille met $N-1$ bonds wordt in het vervolg als de *aangepaste portefeuille* aangeduid. Om de verandering in kaart te brengen moet de aangepaste portefeuille vergeleken worden met de volledige pseudo-portefeuille.

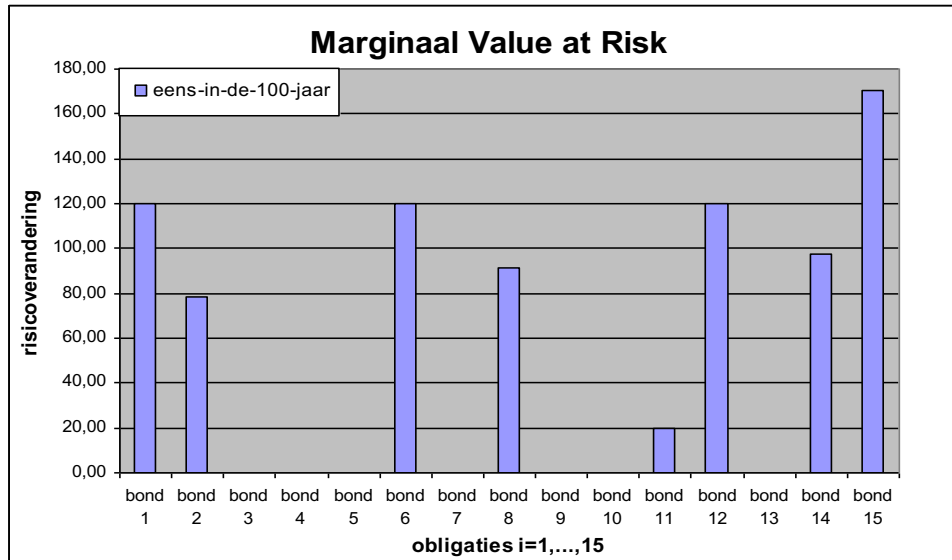
$$\boxed{\text{verandering} = VaR_{port} - VaR_{port-i}}$$

met VaR_{port} het risico van de gehele portefeuille en VaR_{port-i} het risico van de aangepaste portefeuille, waarbij de i -de bond is verwijderd. Bij een positieve uitkomst levert de aangepaste portefeuille een lager risico op. Dit is in het voordeel van de investeerder. De investeerder kan het risico dus verlagen door die specifieke bond te verwijderen. Andersom als de uitkomst negatief is geeft dit aan, dat de aangepaste portefeuille een hoger risico oplevert als die specifieke bond verwijderd wordt.

Naast het verwijderen van een bond is het ook mogelijk om een nieuwe bond toe te voegen aan de huidige portefeuille.

$$\boxed{\text{verandering} = VaR_{port+i} - VaR_{port}}$$

VaR_{port+i} het risico van de nieuwe portefeuille en VaR_{port} het risico van de oude portefeuille. Deze mogelijkheid zal in paragraaf 5.3.3 behandeld worden.



Figuur 5.7: Margaal Value at Risk van de pseudo-portefeuille.

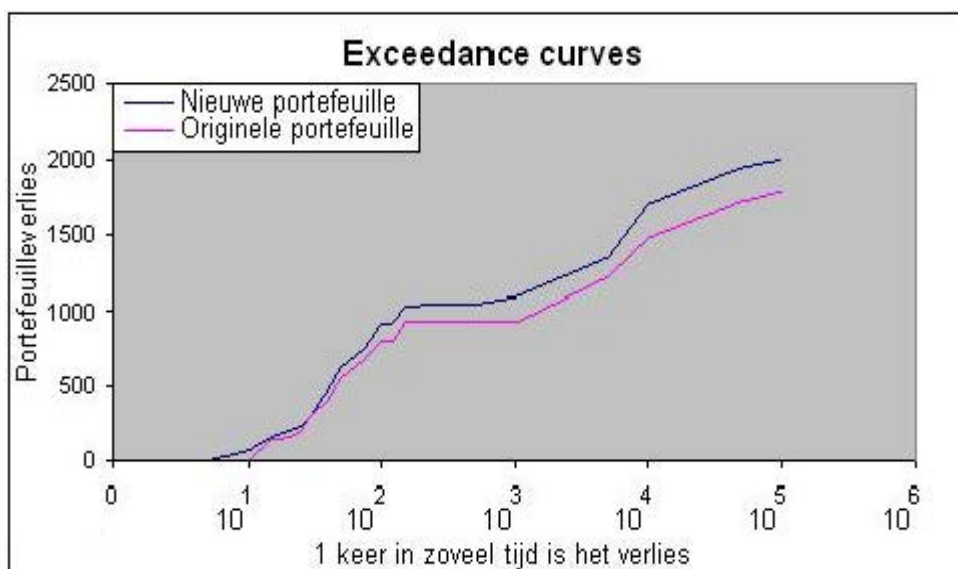
In figuur 5.7 is een histogram te zien, dat de MVaR van de portefeuille weergeeft. Het verwijderen van één van deze 9 bonds, 1,2,4¹⁹,6,8,11,12,14 of 15, leidt dat ertoe dat het risico vermindert. De grootte van de verandering varieert van minimaal 0.3 tot maximaal 170 miljoen dollars. De maximale verandering kan bereikt worden door bond 15 uit de portefeuille te verwijderen. De overige 6 bonds leveren geen risico reductie op. De investeerder kan bond 15 uit zijn portefeuille verwijderen, waardoor het risico met 170 miljoen dollars daalt. Maar de investeerder moet dan weer bepalen welke bonds er toegevoegd moet worden aan zijn portefeuille om tot het volledige ingelegde kapitaal te komen. De investeerder heeft een kapitaal (2,3 miljard dollars) vrijgemaakt om in catbond te investeren en om het kapitaal volledig te benutten moet dat bedrag volledig geïnvesteerd worden. In de verdere analyse wordt dit terzijde gelegd.

Het belangrijkste voor een investeerder is om niet alleen te kijken welke bond verwijderd kan worden, maar ook kijken naar de gevolgen na het daadwerkelijk verwijderen van een bond.

Analyse

In figuur 5.8 is de verandering van de exceedance curve, na het verwijderen van bond 15, te zien. Bond 15 heeft een bondomvang ter waarde van 170 miljoen dollars en is uitgeven voor de volgende risico's: een aardbeving in Amerika, orkaan in Californië en storm in Europa.

¹⁹ Dit is niet in het histogram te zien. Het levert een vermindering van 0.30 miljoen dollars op.



Figuur 5.8: De verandering van de exceedance curves na verwijdering van bond 15.

Het ingelegde bedrag komt nu op 2,1 miljard dollars, met een 1% VaR van 836 miljoen dollars. Het verlies eens-in-de-100-jaar bedraagt 631 miljoen dollars en bevindt zich ook met deze portefeuille onder de 1% VaR. De investeerder heeft een portefeuille opgesteld dat aan de belangrijkste randvoorwaarde voldoet.

Bonds	Premie	Risico
bond 1	0,0390	0,2517
bond 2	0,0700	0,2843
bond 3	0,0313	0,3375
bond 4	0,0600	0,2265
bond 5	0,0235	0,2488
bond 6	0,0475	0,2397
bond 7	0,0415	0,2476
bond 8	0,0575	0,1968
bond 9	0,0390	0,2840
bond 10	0,0850	0,2048
bond 11	0,0725	0,2427
bond 12	0,0625	0,2489
bond 13	0,0400	0,2061
bond 14	0,0540	0,2031
bond 15	0,1000	0,2640

Tabel 5.1: Overzicht van de portefeuille

In tabel 5.1 zijn de premies en risico's²⁰ van alle bonds weergegeven. Bond 15 is de meest riskante van de portefeuille (26%), maar het levert ook het hoogste premie op (10%). De verwachte premie van de originele portefeuille is gelijk aan 5,5% (het gemiddelde van premies). Deze verwachte premie wordt vergeleken met de verwachte premie van de portefeuille als bond 15 verwijderd wordt. Door het aanbrengen van deze verandering wordt

²⁰ Risico = $\sqrt{EL(1 - EL)}$.

het verwachte premie 5,2% (een afname van 0,3%). De investeerder snijdt zichzelf in de vingers als deze bond verwijderd wordt. Waarom zou een investeerder een bond verwijderen, terwijl dit niet nodig is? De investeerder ontvangt een hogere premie en zit qua risico veilig.

5.3.2 Value at Risk en Incrementeel Value at Risk (IVaR)

In tegenstelling tot de marginale VaR wordt er bij incrementele VaR geen bond toegevoegd/verwijderd, maar wordt er onderzocht wat de invloed is van een kleine verandering in een bondomvang. IVaR is de verandering van het totale portefeuillerisico als de bondomvang van bond i verandert met 1 eenheid. In dit geval met 1 miljoen dollars.

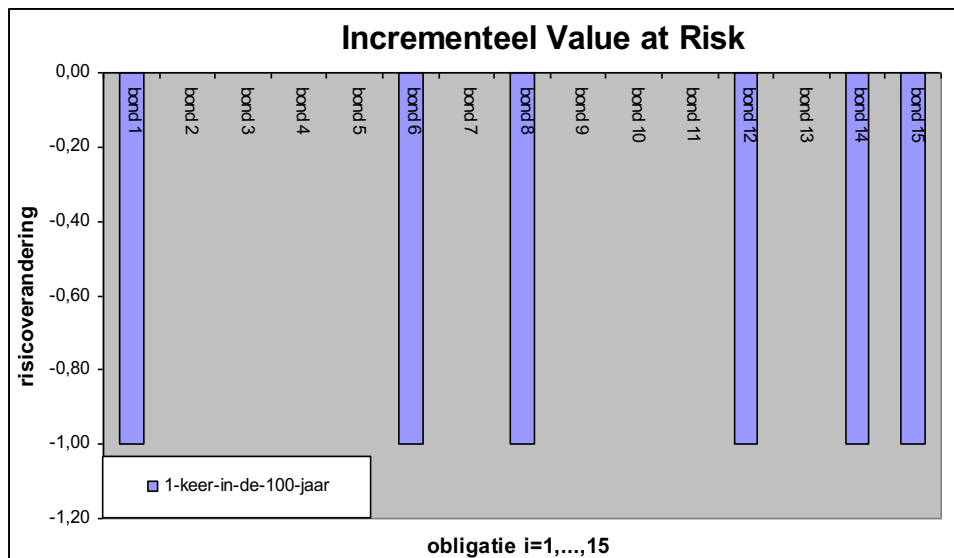
$$\text{verandering} = VaR_{port} - VaR_{port+\epsilon*i}$$

met $VaR_{port+\epsilon*i}$ het verlies van de portefeuille, waarbij bondomvang van bond i is verhoogd met ϵ .

Bij een kleine verandering van de bondomvang is het voldoende om alleen een toe- of afname van een bondomvang te analyseren. Een bondverlaging zal een tegengesteld resultaat opleveren als bij een bondverhoging van dezelfde omvang.

Dat laatste kan simpel uitgelegd worden. Het heeft te maken met de symmetrie van de bondverandering, waardoor het effect van beide mogelijkheden elkaar zal opheffen.

Een simpel voorbeeld, stel een portefeuille bestaat uit 1 bond ter waarde van 5 miljoen dollars. De 1% VaR van de portefeuille bedraagt $0.4 * 5 = 2$ miljoen dollars. Bij een verhoging van de bondomvang zal dit leiden tot een hoger risico. Contra als de bondomvang verlaagd wordt. Het gemiddelde²¹ van beide mogelijkheden zal tot het oorspronkelijke risico uitkomen. Het is dus genoeg om een van deze mogelijkheden te onderzoeken.

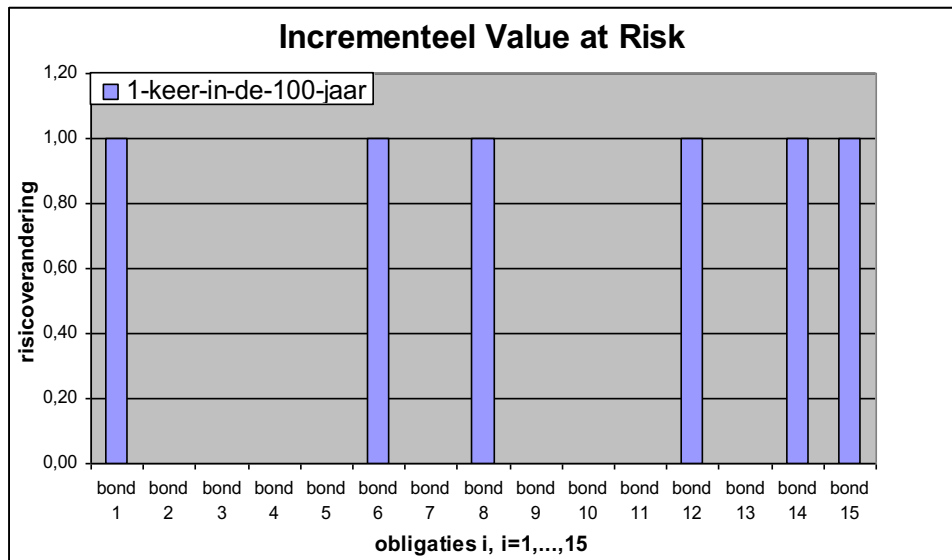


Figuur 5.9: Incrementeel Value at Risk van de portefeuille na een bondverhoging.

²¹ $risico = \frac{(\text{hoofdsom} + \text{verhoging}) + (\text{hoofdsom} - \text{verlaging})}{2} = \frac{0.4 \cdot ((5 + 1) + (5 - 1))}{2} = 2$

Uit figuur 5.9 is het resultaat af te lezen, na het verhogen van de bondomvang. Het risico stijgt met maximaal 1 miljoen dollars. Er zijn negen bonds 2,3,4,5,7,9,10,11 en 13, die niet beïnvloed worden door een verhoging.

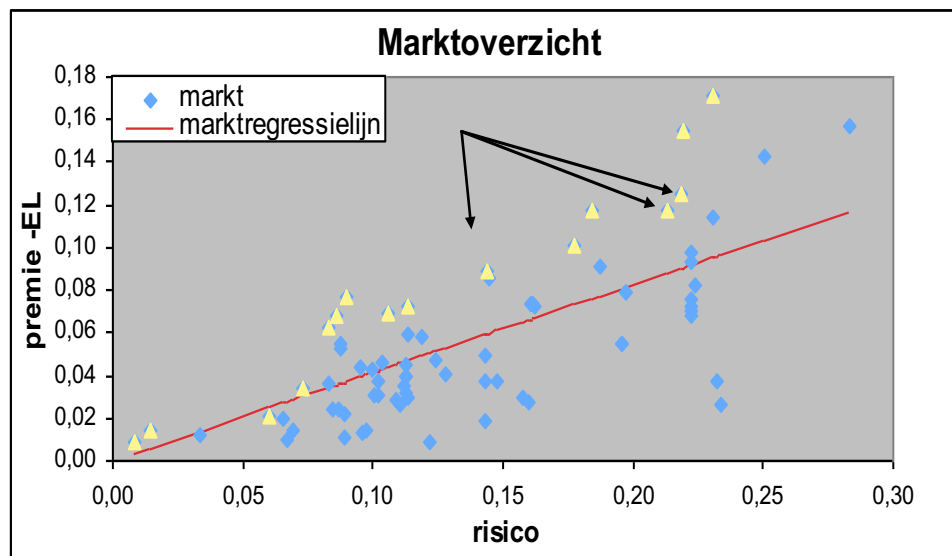
Voor de andere mogelijkheid, verlaging van de bondomvang, is het effect tegengesteld, waarbij de verandering een risicovermindering van maximaal 1 miljoen dollars oplevert. Zie figuur 5.10.



Figuur 5.10: Incrementeel Value at Risk van de portefeuille na een bondverlaging.

5.3.3 Risicoanalyse na het toevoegen van bonds

Elke investeerder zal na een tijd zijn portefeuille willen uitbreiden met meerdere bonds. De beste selectie wordt gedaan uit bonds die het hoogste rendement levert bij een onderliggend risico.



Figuur 5.11: Overzicht van aantrekkelijke bonds in de markt.

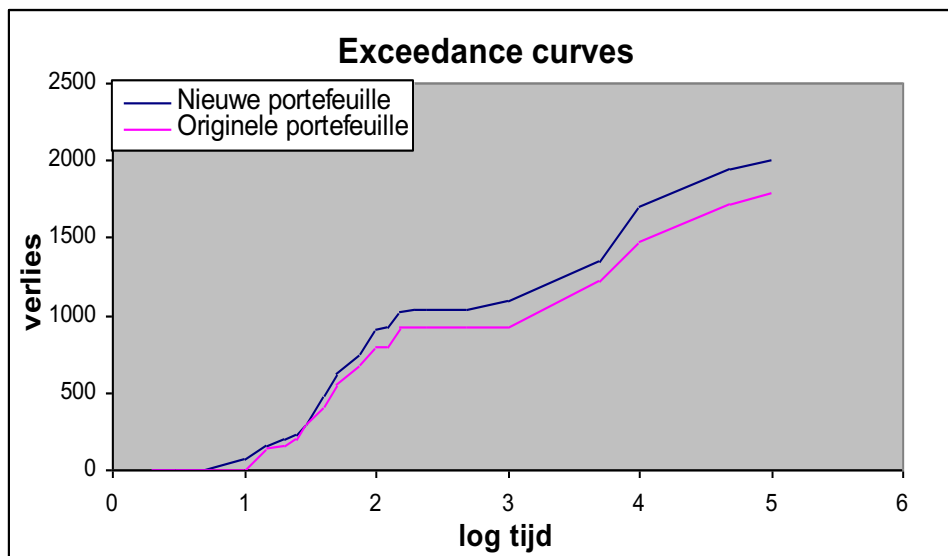
De investeerder kan de verwachte premie verhogen door een van de geel gekleurde bonds in figuur 5.11 te selecteren, mits deze al niet in de portefeuille zit. Al deze bonds leveren het hoogste rendement op ten opzichte van het risico. De investeerder is van plan om drie bonds toe te voegen in de portefeuille (zie figuur 5.11).

Bond	Size (\$Mln)	USW	CAQ	JPQ	EUW	premie
bond 16	14	0,0212				0,11
bond 17	73	0,0126	0,0126	0,0126	0,0126	0,175
bond 18	30	0,0347			0,0129	0,165

Tabel 5.2: Tabel met de toegevoegde bonds.

In tabel 5.2 zijn de nieuwe bonds te zien. Voor elke bond zijn de bondomvang, soorten risico's en premie weergegeven. De totale portefeuille heeft nu een waarde van ongeveer 2,4 miljard dollars en de 1% VaR (40% van 2,4) hiervan is 951 miljoen dollars.

Om beide portefeuilles te vergelijken zal voor elk een exceedance curve opgesteld worden. In figuur 5.12 zijn de exceedance curves weergegeven van beide portefeuilles. De curves liggen in het begin heel dicht bij elkaar. Na 100 jaar beginnen de curves uit elkaar te groeien. Het verlies van de investeerder eens-in-de-100-jaar bedraagt 903 miljoen dollars.



Figuur 5.12: Overzicht van de exceedance curves van de originele en nieuwe portefeuille.

Dit verlies is zelfs nog kleiner dan het maximum van de originele portefeuille (920 miljoen dollars). Dit is een goed teken voor de investeerder. Het gemiddelde van de premies is van 5.5% naar 7,1% geklommen.

De waarde van de portefeuille is gestegen met 4%, met daartegenover een stijging van 29% in de verwachte premie. En qua risico zit de investeerder helemaal goed.

De uitbreiding heeft dus gunstige gevolgen voor de investeerder.

5.3.4 Risicoverandering door verandering in een trigger

Als laatste worden de triggers met een basispunt verhoogd worden. Dit heeft als gevolg dat een bond een grotere kans heeft om geraakt te worden. Het gebied, waarin de bond geraakt kan worden, wordt groter. Voor een investeerder is het belangrijker en interessanter om te onderzoeken wat de gevolgen zijn als de triggers verhoogd worden. De verandering zal waarschijnlijk negatieve gevolgen hebben voor de investeerder. Na de analyse blijkt dat de houder van deze portefeuille geheel ongevoelig is voor enige trigger-verandering. Er zijn geen veranderingen waargenomen in de uitkomsten van de analyse.

6. Empirische waarderingsmodellen voor Catbonds

6.1 Inleiding

Het waarderen van een catbond wordt gedaan aan de hand van drie geselecteerde modellen, namelijk het Kreps, Kreps & Major(K&M) en het LFC model. Elk model zal in dit hoofdstuk beschreven worden.

In de classificatie worden deze modellen onderling vergeleken, waarbij alleen het onderscheid naar 'goedkope' of 'dure' bonds wordt gemaakt. Na de classificatie kan een nieuwe bond toegevoegd worden aan de huidige portefeuille. Dit hangt af van de positie van de nieuwe bond in de markt.

6.2 Kreps model

Rodney Kreps heeft een concept bedacht, begin 1990, dat zegt dat de prijs van een bond gelijk is aan 'verwachte verlies plus een fractie van de standaarddeviatie'. In formule notatie ziet het Kreps concept er als volgt uit:

$$\text{Premie} = \text{EL} + \lambda \sigma \quad (6.1)$$

$$\sigma = \sqrt{\text{EL}(1 - \text{EL})}$$

waarbij EL (*expected loss*) het verwachte verlies en λ is een onbekende parameter. Ook wel de fractie van de standaarddeviatie (risico). Het verwachte verlies is een andere benaming voor triggers/perilkansen.

De opbouw van het risico is al in hoofdstuk 5 uitgelegd. Het risico is dus de vierkantswortel van het product van de twee toestanden: wel/niet geraakt worden. Voor het bepalen van de parameter kan een functie opgesteld worden, die uit een aantal variabelen bestaat. Maar in het algemeen wordt deze parameter gelijkgesteld aan de Sharpe ratio.

$$\text{Sharpe ratio} = \frac{E(r_p) - r_f}{\sigma_p}$$

met $E(r_p)$ het verwachte rendement van de portefeuille, r_f het risicovrije rendement en σ_p is het risico van de portefeuille.

Bij het waarderen van een bond, die een enkele gebeurtenis omvat, kan het concept simpel toegepast worden. Het is recht aan recht toe gebruik maken van de hierboven gegeven formules. In geval van een bond, die meerdere gebeurtenissen omvat, is het noodzakelijk om eerst de verwachte verliezen te sommeren en dan pas de formules te gebruiken. De formules zien er dan als volgt uit:

$$\text{Premie}_{i_i} = \sum_{j=1}^{n_i} \text{EL}_{j_j} + \lambda \sigma_{i_i}$$

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{n_i} EL_j (1 - \sum_{j=1}^{n_i} EL_j)}$$

met n het aantal verwachte verliezen in een bond.

Met behulp van lineaire regressie is het mogelijk om λ , van (6.1) te schatten. Hiervoor moet de vergelijking eerst herschreven worden:

$$Premie - EL = \lambda \sqrt{EL(1 - EL)}$$

6.3 Kreps en Major model (K&M)

Kreps en Major hebben samen een ander model opgesteld. De premie wordt gevormd door een gamma, verwachte verlies (EL) en alfa.

$$Premie = \gamma (EL)^\alpha$$

In dit model is het waarderingsmodel een machtfunctie, terwijl het Kreps model een wortelfunctie is. Het is op te merken, dat er geen standaarddeviatie in het model voorkomt.

Waarschijnlijk vinden Kreps en Major de standaarddeviatie geen goede maatstaf voor het verwachte verlies in een asymmetrische wereld.

Het is niet zo simpel om een lineaire regressieanalyse uit te voeren op dit model. Het is veel handiger om het model te herschrijven. Dit wordt gedaan door aan beide kanten de logaritme te nemen:

$$\log(Premie) = \log(\gamma (EL)^\alpha)$$

Het uiteindelijke resultaat ziet er dan als volgt uit:

$$\log(Premie) = \log(\gamma (EL)^\alpha) = \log(\gamma) + \alpha \log(EL)$$

Met behulp van regressieanalyse worden de waarden voor gamma en alfa geschat. Om tot het originele model terug te keren, is het noodzakelijk om de tiende macht van het model te nemen. De terugrekening zal voor dit model uitgewerkt worden, hieraan kan gezien worden welke parameter(s) aangepast moet(en) worden.

$$\begin{aligned} 10^{\log(Premie)} &= 10^{\log(\gamma) + \alpha \log(EL)} = 10^{\log(\gamma)} \cdot 10^{\alpha \log(EL)} \\ 10^{\log(Premie)} &= 10^{\log(\gamma)} * 10^{\log(EL)^\alpha} \\ Premie &= \gamma \cdot (EL)^\alpha \end{aligned}$$

Uit de terugrekening blijkt dat alleen γ aangepast moet worden. De ware waarde van γ is dus 10^γ en de andere parameter, α , blijft onveranderd.

6.4 Het LFC model

Lane Financial L.L.C. (Lane) is een *broker-dealer* die zich bezig houdt met financiering en herverzekering. Het bedrijf heeft zelf een model opgesteld voor het waarderen van catbonds. Het model staat algemeen bekend als het LFC model. Lane geeft drie redenen waarom het afstand doet van het Krebs model.

Ten eerste weerspiegelen de gefitte waarden, verkregen met het Krebs model, de werkelijkheid niet zo goed. Ten tweede speelt de standaarddeviatie geen rol in de analyse, omdat de standaarddeviatie niet in een catbondprospectus voorkomt. Ten slotte is voor een investeerder belangrijker om gecompenseerd te worden voor elk soort verliezen; enig- en totale verlies. Het Krebs model houdt alléén rekening met enige-verlies. De kans op enig-verlies wordt ook wel de “kans op eerste dollar verlies” genoemd en het totale verlies kan vergeleken worden met de expected shortfall.

In het LFC model spelen dus twee aspecten een belangrijke rol: de ‘kans op eerste dollar verlies’ en het *conditionele verwachte verlies*. Elk aspect zal hieronder beschreven worden.

De “kans op eerste dollar verlies”

In een binaire bond (wel/niet geraakt worden) is de kans op geraakt te worden gelijk aan het verwachte verlies (EL). In het algemeen is deze kans gelijk aan de som van alle verwachte verliezen in een bond. De som van de verliezen wordt in dit model gedefinieerd als de “kans op eerste dollar verlies”:

$$\text{‘verlieskans op eerste dollar’} = \sum_i p_i, \quad \forall i > 0$$

Voor bond 3 is de “kans op eerste dollar verlies” gelijk aan 0.0144, zie figuur 6.1.

Bond	omvang (\$Mln)	USW	CAQ	NMQ	PWQ	JPQ	JPW	EUW	MOA	AUQ	AUW
Obl 3	142	0,01	0,0028	0,0015	0,0001						

Figuur 6.1: De “kans op eerste dollar verlies” voor bond 3.

Het conditionele verwachte verlies (CEL)

Het conditionele verwachte verlies geeft de grootte van het verlies weer.

$$\text{Conditionele verwachte verlies} = \sum_i \left[\frac{p_i}{1 - p_i} \right] * L_i, \quad \forall i > 0,$$

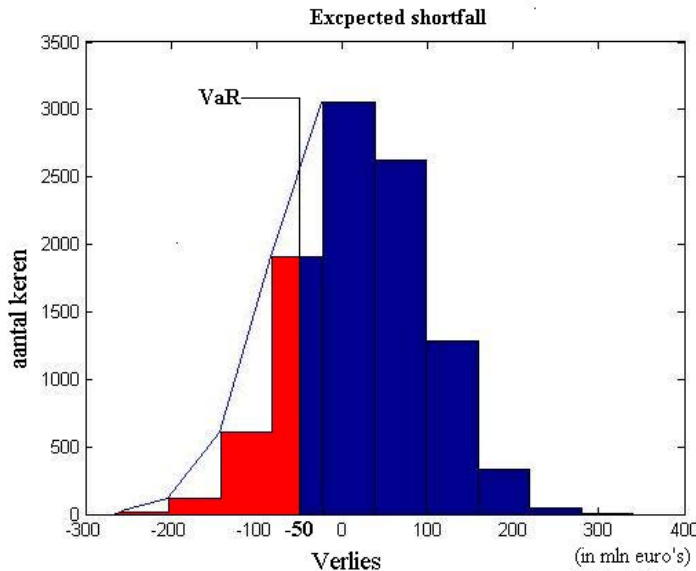
of

$$CEL = \sum_i \left[\frac{p_i * L_i}{1 - p_i} \right] = \frac{EF_i}{PFL}, \quad \forall i > 0$$

met p_i het verwachte verlies voor bond i en L_i de bondomvang van bond i . Het conditionele verwachte verlies kan dus vergeleken worden met de *expected shortfall*. De *expected shortfall* (ES) geeft het gemiddelde verlies bij een overschrijding van de $\alpha\%$ VaR:

$$ES_{1-\alpha} = E[\text{verlies} | \text{verlies} > VaR_{1-\alpha}]$$

Het conditionele verwachte verlies geeft hiervoor een benadering. In figuur 6.2 is een voorbeeld gegeven van de *expected shortfall*.



Figuur 6.2: Een voorbeeld van *expected shortfall*.

De 5% VaR in dit voorbeeld bedraagt 50 miljoen euro's. De *expected shortfall* geeft dus een indicatie van het verlies als deze groter is dan de VaR. De grootte van het verlies wordt dus bepaald door de oppervlakte van het rode gebied.

Het LFC model wordt als volgt gedefinieerd:

$$Price = EL + \gamma * PFL^\alpha * CEL^\beta$$

Nu gaat het weer om hoe de onbekende parameters, gamma, alfa en bèta, het beste geschat kunnen worden. Na het herschrijven van het model en het nemen van de logaritme van beide zijden, wordt het volgende verkregen:

$$Price - EL = \gamma * PFL^\alpha * CEL^\beta$$

$$\log(Price - EL) = \log(\gamma * PFL^\alpha * CEL^\beta) = \log(\gamma) + \alpha * \log(PFL) + \beta * \log(CEL)$$

Ook hier moet er rekening gehouden worden, dat er nog teruggerekend dient te worden om het ware model te achterhalen. In dit model is het belangrijk dat er met dezelfde eenheid gerekend wordt: geld of percentage. In dit model is het beter om alles in geld uit te drukken, omdat er

een bedragcomponent in het conditionele verwachte verlies aanwezig is. Het is dus raadzaam om het verwachte verlies in waarde uit te drukken, tenzij het bedragcomponent uit de vergelijking verwijderd wordt. De vergelijking ziet er dan als volgt uit

$$L_{i_i} * Price_{e_i} = \sum_i p_{i_i} * L_{i_i} + \gamma * (1 - \sum_i p_{i_i})^{\alpha} * (\sum_i \frac{p_{i_i} * L_{i_i}}{1 - \sum_j p_{i_j}})^{\beta}, \forall i_i > 0$$

De gegevens voor de berekeningen zijn te vinden in figuur 4.9. In tabel 6.1 zijn de uitkomsten, die verkregen zijn door middel van regressieanalyse, in een tabel neergezet.

Parameterschattingen:				
Model	Parameter	schatting	ondergrens	bovengrens
Kreps:	λ	0,41	0,37	0,45
Kreps & Major:	γ	0,56	0,40	0,78
	α	0,52	0,44	0,60
LFC:	γ	4,08	3,18	5,22
	α	16,74	9,00	24,48
	β	0,69	0,56	0,82

Tabel 6.1: Overzicht van de parameterschattingen voor elk model inclusief de onder- en bovengrens

De uiteindelijke prijsmodellen zien er als volgt uit:

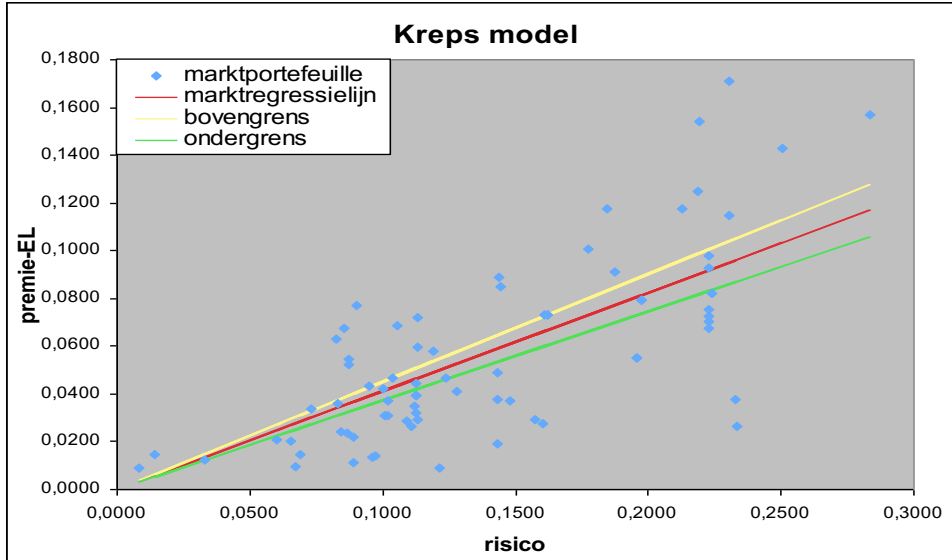
$$\begin{aligned} \text{Skeps model: } & \text{premie} = EL + 0.41 * \sigma_{EL} \\ \text{Skeps\&Major model: } & \text{premie} = 0.56 * (EL)^{0.52} \\ \text{LFC model: } & \text{premie} = EL + 4.08 * PFL^{16.74} * CEL^{0.69} \end{aligned}$$

6.5 Vergelijking van modellen: classificatie

Voor het classificeren van de onderzochte modellen wordt er gebruik gemaakt van tabel 6.1. Het is de bedoeling dat er gekeken wordt naar de boven- en ondergrenslijn van de markt. De boven- en ondergrenslijn zijn 2 standaarddeviatie van de geschatte parameter (\hat{p}) verwijderd.

$$\begin{aligned} \hat{p}_{\text{boven}} &= \hat{p} + 2\sigma_{\hat{p}} \\ \hat{p}_{\text{onder}} &= \hat{p} - 2\sigma_{\hat{p}} \end{aligned}$$

Aan de hand van deze twee lijnen kunnen er twee soorten bonds, ‘goedkope’ en ‘dure’ bonds, onderscheiden worden. De ‘goedkope’ bonds zijn bonds die boven de bovengrenslijn uitsteken. Dit houdt in dat zij meer premie ontvangen dan de markt bij een onderliggend risico. Voor ‘dure’ bonds geldt het omgekeerde verhaal. Het zijn bonds die onder de ondergrenslijn bevinden en bieden een lagere premie ten opzichte van de markt. In de grafiek hieronder is het model van Kreps als voorbeeld genomen.



Figuur 6.3: Regressieanalyse van beide portefeuilles volgens het Kreps model.

Er kan opgemerkt worden dat er redelijk veel bonds zowel onder als boven de grenslijnen bevinden. Dit figuur geeft een duidelijk beeld van de verdeling van de soorten bonds. In de grafiek zijn er 27 ‘goedkope’ bonds (36%) en 37 ‘dure’ bonds (49%) te vinden. De rest is neutraal (11 bonds: 15%).

Vervolgens worden de modellen onderling vergeleken met behulp van pivottabelen. In een pivottabel worden de overeenkomsten van twee modellen duidelijk weergegeven. Voor de classificatie worden alleen de ‘goedkope’ bonds gebruikt. Het is ook mogelijk om naar de ‘dure’ bonds te kijken, maar de keuze maakt helemaal niets uit. In de tabel 6.2 is een pivottabel te zien, waarin de modellen Kreps en Kreps & Major met elkaar zijn vergeleken. Het getal 0 in de tabel geeft aan dat een bond niet onder het kopje ‘goedkoop’ hoort en het getal 1 juist wel.

Count of Kreps	Kreps & major		
Kreps	0	1	Grand Total
0	12	36	48
1	26	1	27
Grand Total	38	37	75

Tabel 6.2: Een pivottabel van een classificatie tussen modellen Kreps en Kreps & Majoren.

Het resultaat laat zien dat 12 dezelfde bonds bij beide modellen als niet ‘goedkoop’ worden beschouwd en 1 dezelfde bond als ‘goedkoop’. Als laatste zijn er 62 (26+36) bonds die met elkaar verschillen in de classificatie. Hieruit volgt dat de modellen voor 29%, $(12+1)/75 \times 100\%$, met elkaar overeenstemmen. Het beste model is datgene dat bij elk vergelijking steeds als beste uit de bus rolt.

Het uiteindelijke resultaat is in tabel 6.3 te vinden. Tabel 6.3 is een overzicht van de modellen die met elkaar zijn vergeleken. Daarnaast staan de juiste classificaties tussen twee modellen als percentage weergegeven.

modellen	Classificatie
Kreps en LFC	29%
Kreps en Kreps & Major	17%
Kreps & Major en LFC	67%

Tabel 6.3: Juiste classificatie tussen de modellen onderling.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat het model LFC het beste model is. Dit model kan dus gebruikt worden voor het introduceren van een nieuwe bond, in de huidige portefeuille.

7. Conclusie

Verzekeringsmaatschappij

Catbonds zijn zowel voor een (her)verzekeringsmaatschappij als voor een investeerder handige financiële instrumenten. Een verzekeringsmaatschappij kan via catbonds een deel van het verzekeringsrisico herverzekeren, zodat het risico op de balans van de verzekeraar verminderd. Door de structurering via een SPV krijgt de verzekeraar geen kredietrisico op de balans, zodat de solvabiliteitsvereisten voor de verzekeraar verlaagd wordt. De lagere vereisten geeft de verzekeraar ruimte om nieuwe verzekeringsactiviteiten te ontwikkelen. Daarnaast zorgt de gecreëerde risicoverspreiding voor een grotere stabiliteit voor de verzekeraar.

Herverzekeringsmaatschappij

De herverzekeraar kan het overgenomen risico zelf weer herverzekeren of gedeeltelijk verkopen in de kapitaalmarkt. De kapitaalmarkt is vele malen groter dan de herverzekeringmarkt, waardoor het risico beter gediversifieerd kan worden. Voor het bestaan van catbonds financierde de herverzekeraar de uitbetaling van claims bij extreme rampen deels uit eigen middelen en deels door de premies te verhogen. Catbonds zorgen voor een vlotte uitbetaling voor een deel van de claims; dit heeft een gunstige uitwerking op de marktpositie van de verzekeraar.

Investeerder

Het grootste voordeel voor de investeerder in catbonds is de betrekkelijke lage correlatie tussen extreme rampen en de kapitaalmarkt. Een ramp zal vaak tot een kortstondige schok zorgen in de aandelen- of kapitaalmarkten. Naast de lage correlatie levert het ook een aantrekkelijke hoge rendement op ten opzichte van het risico.

Het grote nadeel voor een investeerder is het kapitaalverlies. Bij beleggingen in aandelen kunnen neergaande markten zich na verloop van tijd weer herstellen. Het verlies kan uiteindelijk binnen beperkingen blijven. Deze mogelijkheid doet zich helaas niet voor bij catbonds. Het verlies veroorzaakt door een extreme ramp is definitief en kan niet meer teruggedraaid worden. Het ingelegde kapitaal neemt af met de hoofdsom(men) van de geraakte bond(s). Door de afname van het kapitaal neemt ook de grootte van de couponbetalingen af, waardoor de investeerder verlies lijdt.

Het verlies op een gemiddelde catbonds portefeuille na een extreme ramp wordt geschat op 20 tot 40% van de portefeuillewaarde, waarbij het maximale verlies van de investeerder gelijk is aan zijn totale inleg. Via zorgvuldige portefeuilleconstructie kan de investeerder de kans op verlies beperken.

Analyse

Bij het vergelijken van twee portefeuilles is het belangrijk om rekening te houden met heteroscedasticiteit. De heteroscedasticiteit kan weggewerkt worden door de 5 opgespoorde uitbijters te verwijderen. Uiteindelijk wordt de pseudo-portefeuille vergeleken met een aangepaste marktportefeuille, waarbij de Sharpe ratio van de marktportefeuille is gestegen. Deze stijging heeft geen verdere invloed tussen de verschillen van de portefeuilles. Het verschil in de Sharpe ratio's is niet significant genoeg om een onderscheid te maken tussen de pseudo- en marktportefeuille.

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de investeerder het verlies maximaal kan verminderen door bijvoorbeeld *bond 15* uit de portefeuille te verwijderen. Dit levert de investeerder een verwachte verliesvermindering op van 170 miljoen dollars. Risico wordt minder, maar wat bereikt de investeerder hiermee? De investeerder verlaagt de gemiddelde premie, van 5,5% naar 5,2%, door deze bond te verwijderen. Verder kan dit leiden tot geen tactische portefeuille, waarbij het risico minder goed verspreid is over de verschillende catastrofe rampen/gebieden. De investeerder zit met zijn originele portefeuille ver onder de 1% VaR en hoeft daarom geen bond te verwijderen. Bonds verwijderen heeft alleen zin als de investeerder de limiet overschreden heeft of interessantere herbeleggingsalternatieven heeft.

Indien de investeerder zijn portefeuille wil uitbreiden met meerdere bonds kan hij een selectie doen uit bonds die de hoogste rendementen bieden bij een onderliggend risico. Net zoals in dit geval heeft de investeerder een drietal bonds toegevoegd aan zijn portefeuille. De gemiddelde premie is gestegen met maar liefst 29% (van 5,5% naar 7,1%) en de portefeuillewaarde met maar 4% (2,4 mld dollar). Het risico van zijn nieuwe portefeuille bedraagt 903 miljoen dollar en dit is nog steeds kleiner dan het maximale verlies van de originele portefeuille (920 miljoen dollar). De uitbreiding heeft de investeerder goed gedaan.

Waarderingsmodellen

De volgende modellen zijn onderzocht: Kreps model, Kreps&Major en LFC model. Deze modellen zijn in de classificatie onderling vergeleken, waarbij de 'goedkope' bonds gebruikt zijn. Uit de analyse blijkt dat het LFC model het beste model is om een nieuwe bond te beoordelen. Er moet niet vergeten worden dat de 1% VaR niet overschreden mag worden als een nieuwe bond toegevoegd wordt aan de portefeuille.

Literatuurlijst

Boeken

- Insurance and weather derivatives
Helyette Geman, 1999
- Measuring Market Risk
Kevin Dowd, 2002
- Value at Risk
Phillipe Jorion, 1997

Dictaat

- Statistische Data Analyse
Dr M.C.M de Gunst
Prof. Dr. A.W. van der Vaart

Artikelen

- Insurance-linked securities quarterly
Swiss Re, march 2005
- Insurance-linked securities
Swiss Re, 2003
- Rationale and results with the LFC bond pricing model
Lane Financial L.L.C., Morton N. Lane
2003
- The variability and likely pricing of “cat bonds” for developing countries
Lane Financial L.L.C., Morton N. Lane
2004
- Incremental, Marginal and Component VaR
Drs. Michael Denton & J.D. Jayaraman
September 2004
- Cat-bonds voor pensioenfondsen: extreme risk management
De actuaris, Peter-Jan de Koning.
Juli 2006

- Vogelgriep trekt belegger met een omgekeerde loterij
Volkskrant, 16 mei 2006
- Burger betaalt mee aan ramp
Telegraaf, 15 augustus 2006

Internet:

- www.ilselinge.nl
- www.knmi.nl
- www.milieucentraal.nl
- www.mathworks.com
- www.swissre.com

Conferentie

- An introduction to insurance related investments
IXIS Corporate & investment Bank
Jean-Louis Guillaume, Michel Queruel en Nicolas Merigot
8 juni 2006

Presentaties

- cat bonds
Fermat, 16 december 2004
- Enterprise Risk Management Symposium
Lane Financial L.L.C., Morton N. Lane
27 april 2004

Appendix 1: Overzicht van de pseudo-portefeuille.

Bond	Size (\$Mill)	USW	HIW	CAO	NMO	PWO	SCO	JP0	JPW	EWI	MOA	MOB	MRT	AU0	AUW	IMI	KOW	premie
Bond 1	154									0,0054								3,90%
Bond 2	200	0,0069																7,00%
Bond 3	296																	3,13%
Bond 4	123	0,0051		0,0010		0,0072				0,0016	0,0096							6,00%
Bond 5	150																	2,35%
Bond 6	138									0,0105								4,75%
Bond 7	148			0,0105														4,15%
Bond 8	91	0,0056							0,0124	0,0053								5,75%
Bond 9	200																	3,90%
Bond 10	99	0,0130																8,50%
Bond 11	142	0,0100		0,0028	0,0015	0,0001												7,25%
Bond 12	150									0,0156				0,0110	0,0100			6,25%
Bond 13	100																	4,00%
Bond 14	97	0,0082		0,0044				0,0034		0,0102								5,40%
Bond 15	170	0,0111		0,0054						0,0105								10,00%

Appendix 2: Jack-Bera verdelingstoets (JB-toets)

De Jarque-Bera toets evalueert de nulhypothese, dat de dataset normaal verdeeld is met een onbekend gemiddelde en variantie. Tegen de alternatieve hypothese, dat de dataset een andere verdeling heeft dan de normale verdeling. De toets is gebaseerd op de kurtosis en skewness van de dataset. Kurtosis geeft de piekvorm of vlakheid van een verdeling en skewness de scheefheid van de verdeling. Voor een normale verdeling is de kurtosis 3 en de skewness 0. De Jarque-Bera toets onderzoekt of de waarden van de kurtosis en skewness van de dataset significant verschillen van de verwachte waarden (skewness:0 en kurtosis:3). Dit wordt onderzocht met behulp van een asymptotische chi-kwadraat verdeling met twee vrijheidsgraden.

$$\text{JB-toets} = \frac{(n-k)}{6} * \left(S^2 + \frac{(K-3)^2}{4} \right),$$

met

- S = skewness
- K = kurtosis
- n is het aantal observaties
- k is het aantal geschatte coëfficiënten, dat nodig zijn

Appendix 3: Lilliefors verdelingstoets

De Lilliefors toets evalueert de nulhypothese, dat de dataset normaal verdeeld is. Tegen de alternatieve hypothese, dat de dataset een andere verdeling heeft dan de normale verdeling. Deze toets is een aanpassing van Kolmogorov-Smirnov toets, waarbij het gemiddelde en de standaardwijking geschat worden uit de dataset. De toets ziet er als volgt uit:

$$D = \max | \hat{F}(x) - F(x) |,$$

waarbij $\hat{F}(x)$ een empirische verdelingsfunctie is van de dataset. $F(x)$ is de werkelijke verdelingsfunctie achter de dataset, in dit geval de normale verdeling. En de toetsingsgrootheid D is het maximale absolute verschil van beide functies.

De nulhypothese wordt verworpen voor grote waarden van D . De kritieke waarden voor D zijn te vinden in tabellen. Als D groter is dan de bijbehorende kritieke waarde, kan de nulhypothese verworpen worden. Anders wordt de nulhypothese niet verworpen en de dataset is normaal verdeeld.